

Rund 1982

Datortomografins framväxt och spridning

En studie av en ny teknik ur ett
organisations- och branschteoretiskt perspektiv

Ulf Berggren



Datortomografins framväxt och spridning

**En studie av en ny teknik ur ett
organisations- och branschteoretiskt perspektiv**

Ulf Berggren



Datornografens framväxt och spridning

En studie av en ny teknik i sin
organisatoriska och teknologiska utveckling

Ulf Berggren



Printed in Sweden
Studentlitteratur
Lund 1982

FÖRORD

Detta arbete handlar om framväxt och spridning av en ny röntgenteknik, datortomografin. Arbetet är resultat av många personers engagemang. För att kunna genomföra en studie av en ny teknik, där betoning läggs på olika personers och organisationers handlande, är det en förutsättning att människor vill dela med sig av kunskaper och erfarenheter. Utan ett genomgående mycket välvilligt bemötande från såväl den medicinska professionen som företag hade det inte varit möjligt att genomföra denna studie.

Ett särskilt tack går till professor Erik Boijesen och personalen på röntgenkliniken vid Lunds lasarett, som på ett generöst sätt gett mig tillåtelse att besöka kliniken närhelst jag velat.

Arbetet initierades inom ramen för Salfos (Delegationen för Långsiktigmotiverad Forskning) program kring Teknik och Samhälle där SIAR arbetat med ett projekt inom delprogrammet teknik i sjukvården. Vid några seminarier kring detta projekt har flera frågeställningar som jag sedan arbetat vidare med väckts och diskuterats. Vid dessa seminarier har följande personer deltagit: professor Erik Boijesen, Anders Ejerhed, professor Torsten Hägerstrand, professor Bernt Hökfelt, professor Anders Karlqvist och professor Gustaf Östberg och från SIAR, förutom författaren, Jan-Inge Lind, professor Eric Rhenman och Per-Axel Svalander. Förutom intellektuell stimulans har Salfo givit mitt arbete dess huvudsakliga finansiering.

Inom ramen för seminarier vid företagsekonomiska institutionen, Lunds universitet, har arbetet diskuterats och värdefull kritik lämnats av bl a Kenneth Andersson, Christer Kedström, Claes-Magnus Lagnevik och Stefan Yard. Ett speciellt tack går till min handledare professor Björn Bjerke som med konstruktiv kritik och starkt engagemang hjälpt fram arbetet.

SIAR har erbjudit en stimulerande arbetsmiljö. Ett speciellt tack går till mina kollegor inom SIAR Samhällsorganisation. Jan-Inge Lind och Per-Axel Svalander har under lång tid stött mitt arbete och bidragit med råd och kritik som varit väsentlig för arbetets inriktning. Per-Hugo Skärvad har genom sin kritik inte minst öppnat min metodologiska medvetenhet.

För utskrift av ett flertal arbetsmanus har i första hand Gun Hansson svarat, men hjälp också getts av Birgitta Fritsch, Helén Johannisson, Ingrid Nilsson och Paula Slavickova. Inger Olsson har svarat för utskrift av slutmanus. Till alla framförs ett varmt tack.

Lund i juli 1982

Ulf Berggren

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

Sid

PROLOG OCH ARBETETS DISPOSITION	
EN NY RÖNTGENTEKNIK ERHÅLLER NOBELPRIS I MEDICIN	1
DISPOSITION	3
 DEL I. METODOLOGISKA OCH TEORETISKA UTGÅNGSPUNKTER	 6
1. BAKGRUND, SYFTE OCH METODOLOGISKA UTGÅNGSPUNKTER	7
Utgångspunkter för studien	7
Organisationsperspektiv	8
Patientperspektiv	9
En första explorativ intervjustudie genomförs	10
Fortsatt arbete i form av tre delstudier	12
En studie av datortomografins utveckling och spridning	13
För datortomografi	14
För ultraljud	15
Syfte	17
Några metodologiska utgångspunkter	18
 2. VÄGLEDANDE TEORIER OM ORGANISATORISK FÖRNYELSE I EN HISTORISK BELYSNING	 23
En kort förhistoria	23
En konjunktursteori baserad på bristande teknologisk förändring	25
En första sammanhängande organisationsteori	27
En empirisk "milstolpe" om innovationer	29
Studium av innovationsspridning	31
Några ytterligare hypotesframtagande studier	32
En syntes om produktinnovationer	33
En sammanfattning	36
Från begränsad rationalitet till genuin osäkerhet	36
Från osäkerhet till en första teori för organisatorisk inläring	39
Innovationers spridning	40
En organisationsteori för att skapa kvalitativ tillväxt	41
Organisatorisk inläring	44
Ett framgångsrikt exempel på organisatorisk inläring?	48
Branscher som sociala system	50
 DEL II. FALLBESKRIVNING ÖVER DATORTOMOGRAFIN	 52
3. FRAMVÄXTEN AV EN RÖNTGENDISCIPLIN	53
Röntgendiagnostik är idag en omfattande verksamhet	53
Röntgenstrålningen upptäcks	53
Röntgendiagnostikens utbredning	54
Införandet av kontrastmedel	56
Radioterapi blir en särskild specialitet	58
Några röntgentekniska utvecklingssteg	59
Skapandet av en röntgenprofession och röntgenorganisation	60

4.	RÖNTGENINDUSTRIN	63
	En röntgenindustri växer fram	63
	Några utvecklingsriktningar inom röntgenindustrin kring 70-talets början	65
5.	DATORTOMOGRAFI, TEKNIK OCH ANVÄNDNING	67
	En ny röntgenteknik presenteras	67
	En teknisk bakgrundsbeskrivning	67
	Olika generationstyper av datortomografi	70
	Undersökning med datortomografi	71
	Datortomografins bidrag	72
6.	EN IDÉ, DESS BAKGRUND OCH UPPHOVSMÄN	74
	En innovatör och hans idé om en ny röntgenteknik	74
	Några föregångare och deras idéer	74
	Hounsfields bakgrund och första utvecklingssteg	76
7.	EMI - EN BAKGRUNDSBESKRIVNING	82
	Hur EMI blir ett utvecklingsintensivt företag	82
8.	FRÅN IDÉ TILL FÄRDIG PROTOTYP	89
	En innovation söker stöd	89
	En stödkommitté bildas	92
	Hur en första prototyp växer fram	94
9.	EMI ETABLERAR ETT NYTT AFFÄRSOMRÅDE	98
	EMI beslutar sig för att satsa på datortomografi i egen regi	98
	Hur EMI bygger upp produktion och marknadsföring	102
10.	EN SNABBT VÄXANDE BRANSCH - UTVECKLINGEN 1975-77	109
	Den första kroppstomografen	109
	EMI utvecklar en kroppstomograf	110
	Datortomografins snabba genombrott	114
	Marknadsutveckling	117
	Datortomografins förfining	120
	Hur datortomografen marknadsförs	121
	Utvecklingssamarbete mellan röntgenföretag och röntgenprofession	124
11.	DATORTOMOGRAFIN MÖTER SVÅRIGHETER - UTVECKLINGEN EFTER 1977	128
	Stagnationstendenser	128
	Marknadsprognoser för datortomografi	134
12.	DATORTOMOGRAFIN OCH NÅGRA KONKURRERANDE OCH KOMPLETTERANDE TEKNIKER	137
	Några redan etablerade tekniker	137
	Några framtida diagnosmetoder	139
	Gammadatortomografi	139
	Positronkamera	140
	Nukleär Magnetisk Resonans	141
	Datortomografins framtida utveckling	142

13.	DATORTOMOGRAFINS SPRIDNING	144
	Några erfarenheter från USA	144
	Geografisk spridning	144
	Institutionell spridning	145
	Svenska radiologer får sin första datortomograf	146
	Röntgenkliniken i Lund får två datortomografer	148

DEL III. FALLBESKRIVNING ÖVER MEDICINSKT ULTRALJUDS UTVECKLING

14.	ULTRALJUDET - ANVÄNDNING OCH TEKNIK	154
	Ultraljud har idag en mångfacetterad användning	154
	Ultraljudsteknik - en teknisk bakgrundsbeskrivning	156
	Bildåtergivningen	157
	Två-dimensionella system	158
	Realtidssystem	159
	Doppler-scanningsystem	160
15.	INDUSTRIELLT ULTRALJUD	162
	Hur ultraljudet får sin första tillämpning inom industrin	162
	En industri skapas kring ultraljudet	164
16.	ULTRALJUDETS MEDICINSKA TILLÄMPNING	166
	Hur man börjar använda ultraljud som medicinskt diagnos- instrument	166
	Under 1960-talet börjar en industri kring medicinskt ultraljud växa fram	172
	Ultraljudet får sitt stora genombrott under 1970-talet	173
	Bukdiagnostik med ultraljud är en sen tillämpning i Sverige	174
	I Danmark utvecklades tidigt ultraljud för buken	174
	Om hur under 1970-talet en industri växer fram kring medicinskt ultraljud	176
	Marknadssituationen	179

DEL IV. DATORTOMOGRAFINS DIAGNOSTISKA BIDRAG OCH EFFEKTER FÖR PATIENT OCH RÖNTGENORGANISATION

17.	DATORTOMOGRAFINS BIDRAG	182
	Inledning	182
	Efterfrågeprofil	182
	Datortomografi vid diagnostik för skallen	183
	Datortomografi vid diagnostik av barn	184
	Datortomografi vid lungdiagnostik	185
	Datortomografi vid urologisk diagnostik	185
	Datortomografi för bukdiagnostik	186
	Datortomografi vid ortopedisk diagnostik	186
	Datortomografi vid strålbehandling	187
	Datortomografins bidrag - försök till analys	188
	En vidgad syn på datortomografins bidrag	190
	En sammanfattning	191

18.	RÖNTGENLÄKARROLLEN	193
	Röntgenläkarens arbetsuppgifter	193
	Röntgenrönder	193
	Patientundersökning	194
	Diagnosställande	195
	En jämförelse mellan olika röntgenmetoder	195
	Angiografi	196
	Bukundersökning	196
	Datortomografi	196
	Ultraljud	197
	Några effekter för röntgenläkarna av datortomografin	198
	Effekter för neuroradiologer	198
	Effekter för kroppsrontgenologer	199
19.	RÖNTGENASSISTENTROLLEN	200
	Röntgenassistentens arbetsuppgifter	200
	Självständigt arbete	200
	Exempel på en undersökning	201
	Assistent till läkare	202
	Röntgenassistenten som apparatoperatör	202
	Några effekter av datortomografin för röntgenassistenten	204
20.	PATIENTENS SITUATION VID OLIKA UNDERSÖKNINGS- METODER	207
	Genomlysning	207
	Invasiv kontraströntgen	208
	Datortomografi	209
	Ultraljud	211
	En sammanfattning	212
DEL V. EN TOLKNING AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT OCH SPRIDNING UR ETT AKTÖRSPERSPEKTIV		213
21.	EMI:s UTVECKLING AV OCH SATSNING PÅ EGEN PRODUKTION AV DATORTOMOGRAFI	214
	Varför utvecklades datortomografin inom EMI?	214
	Varför satsade EMI på egen produktion av datortomografi?	217
22.	RÖNTGENFÖRETAGEN ETABLERAR EGEN PRODUKTION, MEDAN EMI SLÅS UT UR MARKNADEN	220
	Varför kunde de etablerade röntgenföretagen ta över marknaden för datortomografi?	220
	Varför kunde EMI inte stanna kvar på marknaden?	223
23.	DATORTOMOGRAFINS OCH ULTRALJUDETS OLIKA UTVECKLINGS- OCH SPRIDNINGSFÖRLOPP	225
	Hur kunde datortomografin få en så snabb spridning?	
	Varför uppvisar ultraljudet en så långsam utvecklingsprocess?	229

DEL VI. ANALYS I ETT ORGANISATIONS- OCH BRANSCHTEORETISKT PERSPEKTIV	236
24. OLIKA TEKNOLOGIER OCH DERAS UTVECKLINGSMILJÖ	237
En ny teknologi - inget enhetligt begrepp	237
Några klassificeringar av innovationer	238
En alternativ klassificering	239
EMI som utvecklare av generella teknologier	242
Produktorienterade och intermediära företag - en distinktion	243
En intermediär logik	245
Datortomografi - EMI lämnar sin intermediära roll	246
Datortomografin och organisatorisk förändring - en begrepps- utveckling	249
Forskning och utvecklingsverksamhet måste ses ur ett affärs- strategiskt perspektiv	251
EMI och de etablerade röntgenföretagen drev olika slags forskning och utveckling	256
25. TEKNIKUTVECKLING UR ETT AFFÄRS- OCH BRANSCH- PERSPEKTIV	259
Kritiska element i en branschutvecklingsprocess	259
Det embryonala stadiet	259
Genombrottsfasen	264
Mognadsstadiet	266
Utvecklingslogiker för generella- och applikationsteknologier	267
Den generella teknologin	267
Applikationsteknologin	269
Företagets startkultur, resurser och kompetens	271
26. SPRIDNINGSPROCESSEN INOM DEN MEDICINSKA PROFESSIONEN	273
Röntgen - en tekniskt präglad organisation	273
Röntgen som en professionell organisation	275
Datortomografin i ett vidgat hälsoperspektiv	276
Datortomografin och ultraljudets spridning - försök till en organisationsteoretisk jämförelse	278
27. EPILOG	283
BILAGA 1	
ALLMÄN HISTORISK BESKRIVNING AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT	285
BILAGA 2	
HISTORISK UTVECKLING AV DATORTOMOGRAFIN I SVERIGE	289
BILAGA 3	
HISTORISK BILD AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT I LUND	292
BILAGA 4	
FOTOILLUSTRATION AV NÅGRA RÖNTGENMETODER	294

NOTFÖRTECKNING	303
LITTERATURFÖRTECKNING	309
ENGLISH SUMMARY	325

PROLOG OCH ARBETETS DISPOSITION

EN NY RÖNTGENTEKNIK ERHÅLLER NOBELPRIS I MEDICIN

Den 11 oktober 1979 annonserades att årets nobelpris i medicin tilldelats två tekniker som varit verksamma i att utveckla en ny röntgenteknik med det något svåra namnet datortomografi. Den bestod också av kombinationen en dator och tomografi eller snittbildstagnig.

Datortomografen är till viss del en märklig apparat. Med den kan man röntgenfotografera tvärsnitt genom kroppen. Tillsammans med att man får mycket bättre upplösning i bilden, vilket medger mycket högre kvalitet när det gäller mjukdelsröntgen än konventionella röntgentekniker, så innebär detta ett oerhört stort framsteg för röntgendiagnostiken.

I Karolinska Institutets styrelse, som utser pristagare i medicin, satt röntgenläkaren, närmare bestämt neuroradiologen Torgny Greitz, som sedan datortomografin blev offentliggjord arbetat för dess spridning i Sverige.

En nobelpristagare var Godfrey Hounsfield, en tillbakadragen tekniker som arbetade inom det engelska elektronikföretaget EMI:s centrala forskningsenhet sedan lång tid och som var den egentlige skaparen av tekniken. Den andre var Allan Cormack, en amerikansk professor i fysik, som i ett tidigare skede arbetat med de teoretiska förutsättningarna för snittbildstagnig.

Inom EMI startades 1968 ett utvecklingsarbete och kort därefter byggdes en första experimentbänk. Hounsfield samverkade förutom med Department of Health and Social Security (DHSS) med tre brittiska röntgenläkare, som svarade för den medicinska utvärderingen. Dessa blev så entusiastiska av de första resultaten att de relativt snabbt föreslog att en prototyp skulle byggas så att tekniken kunde prövas i klinisk tillämpning.

En prototyp byggdes mellan åren 1970-71 i ett nära samarbete med neuroradiologen James Ambrose. Det hade visat sig att tekniken skulle få snabbast tillämpning och framgång vid undersökning av skallen.

1971 installerades prototypen vid Ambrose's klinik vid Atkinson Morley's Hospital utanför London. Man undersökte de första patienterna och datortomografin visade sig kunna avslöja tumörsjukdomar i hjärnan på ett sätt som tidigare var omöjligt.

Sedan den blev offentliggjord 1972 drog den till sig ett mycket stort intresse. Snabbt blev den det allmänna och centrala samtalsämnet på radiologiska kongresser runt om i världen. Sjukhus som i ett tidigt skede fått den nya röntgenmaskinen fick ständigt studiebesök av radiologer (1) som alla ville se den nya fantastiska maskinen som kunde ta snittbilder av kroppen som om man skurit ut en skiva och fotograferat den på vanligt sätt. Annars tillbakadragna röntgenläkare skrädde inte orden utan menade att datortomografin var den mest fantastiska som hänt inom röntgenvetenskapen sedan Röntgen själv upptäckte röntgenstrålningen 1895.

Det startades snabbt särskilda radiologiska specialtidsskrifter som ägnades åt datortomografi. Det uppstod ett mycket kraftigt sug från först neuroradiologer och efter tillkomsten av datortomografer som möjliggjorde undersökning av hela kroppen 1975, även från radiologer i gemen. Inom så gott som samtliga större kliniker menade man att det var nödvändigt att skaffa en maskin för att kunna hänga med i det radiologiska arbetet. Många röntgenkliniker på små sjukhus ville också ha egna apparater och tvekade inte inför kostnaden på cirka 3-4 mkr. Tvärtom hävdade man att det var en god investering genom att man nu kunde undvika dyrare metoder, såsom invasiv kärlröntgen. Efter en viss tvekan beslöt EMI att satsa på tillverkning i egen regi och byggde snabbt upp en produktions- och försäljningsorganisation för datortomografi. Genom det sug som uppstod från röntgenprofessionen växte antalet datortomografer, främst i USA, till ett par hundra under de första åren mot beräknat kanske 50 st.

Alla gamla etablerade röntgenföretag och ett flertal andra högteknologiföretag satsade stora resurser och gick in i branschen för att tjäna pengar på denna nya fantastiska röntgenteknik, som tycktes ha en enorm tillväxt.

Åren 1976-77 fanns mellan 15 och 20 tillverkare. Konkurrensen hårdnade och myndigheter i ett flertal länder ville få kontroll på en, som man tyckte, i viss mån ohämmad utveckling och begränsande regler infördes. Hårdast effekt fick de i USA, där marknaden från 1977 till 1978 sjönk med två tredjedelar.

EMI drabbades mycket hårt då man koncentrerat sina ansträngningar till USA. Samtidigt hade man svårt att hänga med i en mycket snabb produktutveckling. Den medicinska sidan vände goda vinster till förluster och hösten 1979 tvingades man slå samman företaget med Thorn Electric, som sedan i sin tur överlät datortomografiverksamheten till General Electric.

Samtidigt som EMI gick med stora förluster nådde Hounsfield höjdpunkten på sin karriär och fick i december 1979 ta emot nobelpriset för sitt utvecklingsarbete.

Andra tillverkare fick också svårigheter och drog sig ur marknaden. En bild med främst de stora röntgenföretagen som ledande utkristalliserades.

Datortomografi för kroppen ställdes också i relation till ett flertal andra metoder och kunde inte manifestera sin överlägsenhet på samma sätt som för skallen. Gamla invasiva kontrasttekniker och nya tekniker, bl a ultraljud, blev svåra konkurrenter. Ultraljudet var också mycket billigare att använda och man undvek röntgenstrålning. Datortomografen kom in i en intensiv utvärderingsfas och man strävade efter att ta fram program för när olika tekniker skall användas. Samtidigt finns på utvecklingsstadiet nya och intressanta diagnostiktekniker, som alla lovar att bli konkurrenter till datortomografi.

En grundläggande fråga

Den grundläggande och centrala utgångspunkten i detta arbete är att försöka förstå varför datortomografen kunde få ett sådant kraftfullt genomslag under mycket kort tid. Att en bra teknik sprids snabbt och framgångsrikt verkar i och för sig inte särskilt besynnerligt. Tittar man emellertid lite närmare på datortomografins utveckling så har den emellertid en del gåtfulla aspekter. Det är inget generellt fenomen att en ny teknik accepteras direkt. Dator-

tomografins snabba utveckling kan jämföras med exempelvis att det tog omkring 50 år för en så enkel, men idag av alla läkare använd apparat som stetoskopet att bli accepterat. (2) Akupunktur har varit känt sedan århundrade men först under de allra senaste åren väckt någon uppmärksamhet i västvärlden.

Man kan också titta på ultraljudsdiagnostik. Av alla tecken att döma så har den en minst lika revolutionerande potential som datortomografin. Den har emellertid redan drygt 25-30 år på nacken och dess utveckling och spridning har inte haft tillnärmelsevis samma dynamik som datortomografins, åtminstone inte förrän de allra senaste 2-3 åren. Röntgenologerna, inte minst i Sverige, har i praktiken under en lång tid ställt sig tämligen kallsinniga till den även om utvecklingen på senare år tagit fart. Vad beror skillnaden på?

Om vi vidare tittar på produktionen av datortomografer finner vi att även om det fanns cirka 20 tillverkare 1976-77, så finns det idag bara 5-8 tillverkare kvar och det förefaller dessutom som om ingen eller mycket få tillverkare ännu lyckats tjäna pengar på dessa apparater.

Det visar sig vidare att spridningsförloppet beträffande datortomografin varit olika i olika länder. I Frankrike har spridningsprocessen gått mycket långsamt, trots att det är ett land där man i andra sammanhang välkomnar avancerad teknik och elektronik. I Tyskland och USA har spridningen av datortomografin haft en helt annan karaktär än exempelvis i Sverige.

Vad är det då som egentligen ligger bakom datortomografins förbluffande utveckling? Vad är det för drivkrafter som ligger bakom - kommersiella, tekniska och humanitära?

DISPOSITION

Studien är disponerad i sex huvuddelar med följande indelning:

Del I kapitel 1-2.

Metodologiska och teoretiska utgångspunkter.

De två inledande kapitlen ger en bakgrund till studien och behandlar metodologiska och teoretiska utgångspunkter. Kapitel 1 behandlar bakgrund och metodologiskt synsätt, kapitel 2 teorier för innovationer och organisatorisk förnyelse som utgör utgångspunkten för dispositionen av fallbeskrivningen och den efterföljande tolkningen.

Del II kapitel 3-13.

Fallbeskrivning över datortomografin.

Fallstudien inleds med en historisk exposé över röntgendisciplinens framväxt. Här framgår hur successivt fler kroppsorgan blivit tillgängliga för röntgenundersökning (kapitel 3).

Därefter följer en kort presentation av röntgenindustrins framväxt och dess ställning under 1960-talet, då datortomografiiden kom fram (kapitel 4).

Datortomografitekniken med dess diagnostiska bidrag presenteras därefter (kapitel 5).

Huvuddelen utgör en berättelse om processen från idé till produkt och hur elektronikföretaget EMI bestämde sig för att satsa på en ny bransch och byggde upp nya organisationsenheter kring datortomografi (kapitel 6-9).

Följande kapitel handlar om hur andra företag började utveckla datortomografi och därmed skapade konkurrens för EMI. Viktiga roller spelades av de etablerade röntgenföretagen (kapitel 10).

Utvecklingen efter 1978, då tendenser till stagnation inträdde och ett flertal företag drog sig ur marknaden, behandlas i kapitel 11.

Därefter behandlas några diagnostekniker som datortomografen kom att relateras till. Vissa av dessa befinner sig på forskningsstadiet och visar på den mycket snabba förändring som präglar området för medicinska diagnostekniker (kapitel 12).

En kort beskrivning över datortomografins spridning i USA, samt anskaffningsprocessen i Sverige respektive vid Lunds lasarett behandlas i det avslutande kapitlet (kapitel 13).

Del III kapitel 14-16.

Fallbeskrivning över medicinskt ultraljuds utveckling

Denna del behandlar ultraljudets utveckling. I ett första kapitel ges en teknisk bakgrund samt en bild av användningsområdena (kapitel 14).

Därefter studeras hur ultraljudet fick sina första tillämpningar inom den industriella sektorn (kapitel 15).

Det avslutande kapitlet handlar om utvecklingen av medicinskt ultraljud och hur det uppstod en industri kring tekniken (kapitel 16).

Del IV kapitel 17-20.

Datortomografins diagnostiska bidrag och effekter för patient och röntgenorganisation

Denna del avser att ge en djupare bild av röntgenprofessionen och vilka bidrag respektive effekter som datortomografen gav. Ett första kapitel behandlar datortomografins bidrag för olika kliniska discipliner (kapitel 17).

Därefter följer tre kapitel som behandlar röntgenläkarrollen (kapitel 18), röntgenassistentrollen (kapitel 19) respektive patientens situation vid olika röntgenundersökningar (kapitel 20).

Del V kapitel 21-23.

En tolkning av datortomografins framväxt och spridning ur ett aktörsperspektiv

Här görs en första tolkning av respektive teknikers utveckling, som tar utgångspunkt i olika aktörsggrupper som presenterats i fallbeskrivningen. Avsnittet är disponerat i tre kapitel med utgångspunkt i de frågeställningar som presenterats ovan på sid 17 (kapitel 21-23).

Del VI kapitel 24-27.

Analys i ett organisations- och branschteoretiskt perspektiv

I ett första kapitel görs ett försök att på ett mera generellt plan tolka respektive teknologis utvecklingsförlopp. Här presenteras några begrepp som hjälper oss att förstå olika teknologiska utvecklingsförlopp (kapitel 24).

Därefter diskuteras datortomografin och ultraljudet ur ett branschutvecklingsperspektiv med hjälp av några tidigare utvecklade begrepp (kap 25).

Nästa kapitel behandlar mera explicit drivkrafter hos den medicinska professionen som ökar förståelsen för datortomografins kraftfulla spridningsförlopp (kapitel 26).

Det sista kapitlet innehåller ett försök att summera de viktigaste slutsatserna (kapitel 27).

DEL I. METODOLOGISKA OCH TEORETISKA UTGÅNGSPUNKTER.

Huvuddelen av detta arbete utgörs av en fallbeskrivning över datortornografins och ultraljudets utvecklings- och spridningsförlopp.

I denna första del ges en bakgrund till studien och presenteras det metodologiska synsätt och de teorier som väglett arbetet.

I kapitel 1 behandlas arbetets bakgrund, tillvägagångssätt, syfte samt grundläggande metodologiska utgångspunkter.

I kapitel 2 presenteras den teoretiska referensram som bildar underlag för arbetets uppläggning och den efterföljande uttolkningen.

1. BAKGRUND, SYFTE OCH METODOLOGISKA UTGÅNGSPUNKTER

Utgångspunkter för studien

Föreliggande studie har sin upprinnelse i ett 1978 av SALFO (Delegationen för långsiktisnotiverad forskning) initierat och finansierat forskningsprojekt.

Ett prioriterat projektområde inom delegationen vid denna tidpunkt var projekt som behandlade samhällets förändringsfaktorer. I ett antal studier skulle man utgå ifrån vissa givna föreslagna förändringsfaktorer och undersöka på vilket sätt som dessa faktorer gav upphov till förändringar i samhället. Några temata som behandlades var rätten och samhällsförändring, konsten, entreprenörerna och teknologin.

Inom området teknologi och sjukvård identifierade man två studieområden, som materialiserades i två projekt.

I det ena studeras hur diagnostik och behandling av bröstcancer hos kvinnor utvecklats. Man följde patienter från det att de fick sina första symtom och tog sin första kontakt med sjukvården igenom hela den diagnostiska proceduren och behandlingen. Syftet var att studera hur teknologin kommer in i olika faser av en vårdepisod. Ett annat inslag i projektet var att göra en historisk jämförelse mellan hur en sådan vårdepisod sett ut vid olika tidsskeden.

I en andra studie ville man studera införandet av en ny röntgenteknik, datortomografi. Datorerna har, liksom inom andra samhällsområden, varit en av 1970-talets mest revolutionerande medicinska landvinningar. Tomografi är en sedan tidigare känd metod att röntgenfotografera ett tvärsnitt eller en skiva inne i kroppen istället för att genomlys hela kroppen eller kroppsdelen som vid konventionell röntgen. Datoriseringen av denna teknologi består dels i att man kan ta snitt i serie efter varandra. Den viktigaste effekten är dock att man inte registrerar bilden på en plåt utan med mycket känsligare avkännare, vilket i sig innebär att man kan avläsa mycket mindre differenser av "genomsläpp" av röntgenstrålning genom vävnader. Bilden projiceras på en dataskärm eller ritas av en skrivare. Tekniken innebär att man kan fotografera och urskilja avvikelser hos vävnader som var helt omöjligt med konventionell röntgen.

Inom Salfo hade vid SIARs första kontakt med projektet, våren 1978, tre möjliga perspektiv för studien tagits fram:

- o Hur själva innovationen kommit till och utvecklats i olika steg. Vilka beroenden hade gjort den möjlig?
- o Politiken kring teknologin. Vilka argument har använts för att få politiker att investera i datortomografi och vilka aktörer är det som deltagit?
- o Den tredje aspekten var hur teknologin påverkar människorna i organisationen och förutsättningarna för det sociala samspelet mellan olika personalkategorier och mellan läkare och patient.

Syftet med studien var således att göra en djupstudie av datortomografin ur några eller alla av dessa perspektiv eller för övrigt ytterligare perspektiv som kunde visa sig vara av intresse under studiens gång.

Ett ytterligare väsentligt syfte var att försöka utnyttja ett tvärvetenskapligt perspektiv, vilket främst kom att manifesteras i de uttolkningsseminarier som löpande genomfördes under projektet. I dessa deltog röntgenläkare, tekniker, kulturgeograf samt företagsekonomer med i vissa fall bred sociologisk forskningsbakgrund. Under projektet hölls också seminarier med etnologer, där vissa delar av projektet diskuterades.

Seminarierna hade avgörande betydelse för inriktningen av vilka övergripande frågeställningar studien skulle inriktas på.

Under tiden mellan 1978 - 79 skisserade vi tillsammans med Salfo på tänkbara uppläggningar av studien. Ett organisationsperspektiv och ett patientperspektiv låg i förgrunden.

Organisationsperspektiv

Huvudsyftet var att studera förändringar i sjukvården i samband med att den nya tekniken installeras. En vanligt förekommande observation vid införandet av ny teknik är att den ger upphov till oväntade effekter. Vår avsikt i detta projekt var att försöka förstå vad som egentligen händer efter ett fattat beslut om införande av datortomografin vid Lunds lasarett, till en första början egentligen införandet vid Malmö Allmänna Sjukhus. Byte av professur för professor Erik Boijesen, gjorde att studien också flyttades till Lund.

Om utgångspunkten var att en datortomograf installerades kan man vänta sig att olika typer av tekniska störningar uppstår och kräver anpassning. De åtgärder som sätts in för att anpassa den nya tekniken har ofta olika slag av mer eller mindre förväntade bieffekter. Fenomenet att en ny teknik inom sjukvården, genom att åstadkomma olika slag av obalanser, medför många oväntade effekter, är mycket diskuterat, men enligt våra erfarenheter föga studerat. En fallstudie av den nya röntgendiagnostiska tekniken, datortomografi, skulle kunna vara ett bidrag till ett sådant studium.

Detta kan ses som en studie av "teknikens ekologi", som fokuserade dels på tekniska anpassningar som behövs för att inplantera den nya tekniken i sin miljö och dels på vilka effekter på andra tekniker som skapades genom dess tillkomst.

För att förstå vad som händer och för att belysa och avslöja detta tema i tekniken planerade vi att till en början använda oss av anekdotiska fallbeskrivningar av "ekologiska förlopp". Efter att ha identifierat intressanta mönster i sådana beskrivningar skulle vi i ett andra steg göra några historiska tillbakablickar för att bättre förstå de enskilda växtförloppen. Därefter skulle vi försöka skapa en helhetsbild som beskrev de mekanismer som arbetar i de olika förloppen.

Utgångspunkten var att följa olika tekniska funktioner och applikationer baklänges och ta reda på vad som måste anpassas för att det skall fungera, vilka nya konstruktioner som behövdes, vilka former av sekundärteknologier som uppstod, nya tekniska generationer, etc. Denna kartläggning av förväntningar borde dels genomföras vid tidpunkten för datortomografens införande och följas upp ett eller ett par år senare.

Patientperspektiv

Vi skisserade också på en delstudie om hur ny teknik påverkar patientens situation. En ny diagnostisk teknik till läkarnas hjälp innebär en förändring i dennes arbetsrutin och därmed kanske en förändring av kontaktytan mellan läkare och patient.

Om vi utgår från att vårdsituationen för patienten inte bara har ett medicinskt/tekniskt innehåll utan också ett emotionellt och socialt, så är det fullt tänkbart att en teknisk förbättring som införes kan ha negativa effekter för patienten ur andra synvinklar. Sådana bieffekter av ny teknik, såväl positiva som negativa, är ofta oförutsedda och överraskande.

I fallstudien av datortomografin ville vi beskriva hur patientens villkor i vårdsituationen förändras genom införandet av den nya tekniken, såväl direkt - hon utreds på ett annat sätt än tidigare - som indirekt - läkare och kanske andra vårdares arbetsvillkor förändras på ett sådant sätt av den nya tekniken att också deras direktrelation med patienten förändras.

Vi var också intresserade av att jämföra förväntningarna på den nya tekniken med vad som verkligen skedde, vilka förväntningar som uppfylldes, vilka nya som utvecklades efter hand, vilka som ej uppfylldes och vilka oplanerade bieffekter av den nya tekniken som uppstod.

Flera olika aktörskategorier kunde vi identifiera som hade förväntningar på datortomografin utifrån olika specifika perspektiv. Genom intervjuer med representanter för dessa aktörskategorier skulle man kartlägga såväl förväntningarna som de perspektiv utifrån vilka de uttalades. De viktigaste berörda aktörskategorierna var följande:

- o röntgenläkarna
- o annan röntgenpersonal som berörs av den nya tekniken, t ex röntgen-assistenten
- o kliniska beställare av röntgendiagnostiska utredningar
- o patienterna
- o politikerna.

När det gäller patienternas förväntningar bedömde vi det svårt att göra direkta intervjuer med dessa, eftersom de i allmänhet saknar en erfarenhet av att bli röntgade som ger dem specifika referensramar. I den mån de har specificerade förväntningar har de i allmänhet fått dem genom remitterande läkare eller annan sjukvårdspersonal i samband med sjukvårdstillfället. Däremot kunde politikerna åtminstone formellt anses ha tagit ställning till datortomografins införande ur patientens synpunkt och dessa borde därför intervjuas just beträffande vilka förväntningar de hade om hur den nya tekniken påverkade patientens situation. Patienterna kunde däremot efter det att de genomgått en undersökning intervjuas om vad de upplevt och hur detta motsvarat de förväntningar de givits.

Vi skisserade också på en delstudie där förloppet vid datortomografisk utredning borde jämföras med förloppet vid annan typ av utredning som datortomografin ersatte eller kompletterade. Jämförelsen borde göras med avseende på några olika typer av diagnos - eller indikationsgrupper:

- o Utredningsindikation, där datortomografin ersatt annan avancerad röntgenundersökning, exempelvis kontraströntgen, tomografi och liknande.
- o Utredningsindikation, där datortomografin ersatt eller kompletterat annan eller andra icke röntgendiagnostiska metoder som exempelvis biopsi eller någon form av endoskopi.
- o Utredningsindikation, där datortomografin går in där ingen annan specifik teknik funnits annat än patientens sjukdomshistoria och vissa medicinska "rutindata" (kroppstemperatur, blodtryck, sänka m m).

För varje metod skulle hela den sekvens av händelser som patienten genomgår, från det att hon söker läkare för vissa symptom till dess att en säker diagnos har ställts, beskrivas. Beskrivningen skulle göras genom direktobservation av och intervjuer med patienter, röntgenläkare och kliniska användare.

En första explorativ intervjustudie genomförs

För att få ett bättre underlag till hur studierna skulle läggas upp genomfördes under våren 1979 en explorativ intervjustudie.

Vi samtalade med 24 personer med erfarenhet av datortomografi ur olika perspektiv. Här fanns röntgenläkare som arbetat med datortomografi, röntgenläkare som inte hade någon direkt erfarenhet av tekniken, men indirekt sådan genom att de remitterade patienter till datortomografiska undersökningar, och kliniker som representerade områden som utnyttjade datortomografin som hjälpmedel i diagnosarbetet. Åter andra personer representerade företag som tillverkar(-de) datortomografer och företrädare för politiska och administrativa beslutsfattare. Tyngdpunkten i denna första fas låg på den medicinska sidan med cirka femton av de totalt tjugofyra intervjuade personerna.

Vid urvalet arbetade vi inte efter någon statistisk urvalsmetod. Istället strävade vi efter en så bred belysning som möjligt från personer som på något sätt varit engagerade i datortomografin. Lämpliga intervjupersoner kom fram successivt under arbetets gång, ofta som tips från redan intervjuade personer.

Denna metod, där man i ett inledningsskede gör en explorativ sökning efter information, innebär således konkret att man börjar med att söka information med ett brett perspektiv i syfte att ta fram ett antal intressanta och spännande frågeställningar som på något sätt verkar mystiska. Dessa frågeställningar ligger sedan till grund för det fortsatta empiriska arbetet. Med en parallell till detektivområdet gäller det att hitta ett antal genuina gåtor och möjliga historier, som behöver lösas och som därmed ligger till grund för en djupare studie.

Orienteringsfasen avslutades med en arbetsrapport (1) som blev föremål för ett uttolkningsseminarium, där successivt ett antal övergripande och preliminära

frågeställningar växte fram, som vi i det fortsatta arbetet skulle vidareutveckla och förstärka. De var:

- o hur datortomografin utvecklats och spridits
- o datortomografins effekter för den inre sjukvårdsorganisatoriska miljön
- o datortomografins effekter för patient

Under seminariet diskuterades en mängd olika perspektiv att fokusera kring i det följande arbetet.

I ett flertal intervjuuttalanden framgick den stora uppmärksamhet och snabba spridning som tekniken fått i den internationella röntgenvärlden. Det var också intressant att notera att den första datortomografen utvecklats inom det engelska elektronikföretaget EMI. Den etablerade röntgenindustrin började egen produktion först ett par år efter teknikens marknadsintroduktion.

Både läkare och företagsrepresentanter poängterade att datortomografins snabba spridning stod i bjärt kontrast till exempelvis ultraljudet. Den senare tekniken hade en lång historia bakom sig och gav fortsatt upphov till relativt litet intresse inom röntgenprofessionen våren 1979.

Ett tänkbart perspektiv som diskuterades var att studera drivkrafterna bakom teknikutveckling. Vi undrade om behov eller möjligheter var dominerande.

I många intervjuuttalanden påpekades datortomografins non-invasiva karaktär, dvs att man slapp föra in smala slangar i patienternas blodkärl för att spruta kontrastmedel, och att den var smärtfri för patienterna.

Ett intressant problemområde var om datortomografin gav upphov till förändringar i väntetider, etc för patienten och generellt vilka effekter dator-tomografin kunde medföra för andra diagnosmetoder. Eventuellt skulle man studera datortomografins användning sedd ur en total behandlingsstrategi, t ex genom att göra jämförande longitudinella beskrivningar av patienters vård-episoder. Över huvud taget var ett betydande diskussionsområde hur dator-tomografin påverkat relationen mellan patient och vårdpersonal.

Datortomografins inverkan på röntgenorganisationen var ett ämne som ständigt återkom i intervjuuttalanden. Man hade redan sett en reduktion av vissa andra undersökningsmetoder och tendenser till centralisering av mer avancerade undersökningar till de större regional/universitetssjukhusen.

I en internationell jämförelse såg vi att det fanns klara skillnader mellan datortomografins acceptans i olika länder. Det fanns också intressanta skillnader i sättet att organisera datortomografi- och ultraljudsundersökningar. I t ex USA fanns på vissa ställen särskilda diagnosavdelningar, där röntgen, ultraljud och vissa andra diagnostekniker organisatoriskt förts samman.

En ytterligare fråga gällde dialektiken mellan terapi och diagnostik. Dator-tomografin hade redan genererat nya behandlingsmetoder. Samtidigt var den i vissa fall ett så effektivt diagnosinstrument att det inte fanns behandlings-metoder för alla de diagnoser som fastslogs med datortomografin.

Fortsatt arbete i form av tre delstudier

Studien kom således att läggas upp som tre delstudier, en inom vardera de tre ovan nämnda delområdena.

Studien över datortomografins historiska utveckling och spridning kom att få en markant ökad tyngd. Ursprungligen skisserades enbart att ta fram ett historiskt "milstolpschema", där de viktigaste händelserna kort skulle beskrivas. Nu blev studien av datortomografins utveckling en av tre delstudier. De två övriga behandlade patient - respektive organisationsaspekter av datortomografins införande. De kom senare att integreras i en delrapport (2).

Uppläggningsen av de två delstudierna om datortomografins effekter materialiserades i fyra delstudier:

- o Ett antal intensiva fallbeskrivningar av vårdepisoder. Syftet var att få en detaljerad bild av vad som sker med patienten från det att hon kommer till sjukhuset till dess hon i princip skrivs ut. Ett viktigt inslag var att via direkta observationer av olika röntgenundersökningar studera förändringar för patient, röntgenläkare och annan vårdpersonal av datortomografins införande.
- o En studie av 100 konsekutiva fall som utreds i helkroppstomografi. I en sådan studie skulle man med hjälp av vissa mycket riktade frågor till undersökande röntgenläkare respektive till patientens ansvarige kliniske läkare få data om vissa hårda patienteffekter, såsom bidrag till diagnostik och behandling samt vissa effekter på organisationen, dvs vilka sektioner inom röntgenkliniken och vilka kliniker som använder datortomografen. Man skulle således få en bild utav "utbudsprofilen", dvs vem som använder datortomografen, vad man använder den till (diagnosgrupper och frågeställningar), hur den kompletteras och/eller ersätts av andra utredningar, vilken effekt den bedöms ha för diagnos och behandling jämfört med om man inte hade haft denna utredningsmöjlighet.
- o I en tredje delstudie studerade vi efterfrågan från klinikerna på dator-tomografen. Eftersom röntgenkliniken kontrollerade utbudet så fanns det anledning att klinikernas efterfrågan skulle avvika från utbudet. Denna efterfrågeprofil borde vara av intresse att beskriva för att få en bild av i vilken riktning som användarna skulle komma att dra datortomografen. Konkret handlade det om att göra intervjuer med representanter för alla de aktuella kliniker som utnyttjade datortomografiundersökningar. De tre viktigaste frågeställningarna var: vad de har för nytta av datortomografen idag, vad de förväntar sig av datortomografen i framtiden, vad de önskar mer av. I samband med intervjuerna passade vi naturligtvis på att fråga dem om deras konkreta erfarenheter av datortomografen hittills, om patienteffekter och organisationseffekter.
- o I ytterligare en delstudie studerade vi de kritiska perspektiven och populationsperspektivet på datortomografen. Med "populationsperspektivet" avser vi de effekter som datortomografen kan ha för patienter eller potentiella patienter som inte undersöks med denna teknik. Om inte annat så konkurrerar datortomografen om knappa resurser som kanske annars skulle fördelas till andra behovsområden. I denna delstudie

intervjuades dels representanter för beslutsfattare och dels representanter för typiska "icke-användare" av datortomografin. Dessa utnyttjade inte datortomografin helt enkelt för att den inte har något att bidra med inom deras specialitet, men de kan ändå anses ha värdefulla åsikter om var pengarna för datortomografin hade kunnat placeras alternativt. Företrädare fann vi bland annat inom distriktsvård, reumatologi och rehabilitering.

En studie av datortomografins utveckling och spridning

Detta arbete handlar om datortomografins utveckling och spridning, dvs bygger främst på delstudien där vi studerat datortomografin ur ett innovationsperspektiv. Studierna av röntgenorganisationen och förändringar som datortomografin initierat för personal och patient kom emellertid att spela en viktig roll för förståelsen av drivkrafter som verkar för datortomografins snabba utveckling och spridning.

Studien av innovationsförloppet lades i huvudsak upp som en kombinerad intervju - och litteraturstudie. Det empiriska arbetet i denna studie kom att löpa parallellt med de två övriga delstudierna, inte minst därför att det ofta var samma personer som kunde ge information som hade betydelse för flertalet delstudier.

I inledningen av denna andra fas, från och med sommaren 1979, ägnade vi relativt mycket arbete åt att få en förståelse av den inre röntgenorganisatoriska miljön. För detta syfte gjorde vi bland annat direktobservationer av olika röntgentekniker och följde röntgenläkare och annan röntgenpersonal i deras arbete. Här förstod vi än mer betydelsen av att kombinera en studie av effekter för organisation och patient med en djupare historisk bild av datortomografins tillkomst och spridning. I en sådan studie skulle vi få möjligheter att se i vad för slags miljö som datortomografin utvecklades och fick sin första tillämpning. Vi blev samtidigt uppmärksammade på betydelsen av en djup förståelse av röntgenorganisationens och röntgenprofessionens karaktär för att förstå drivkrafter bakom utvecklingsförloppet. Vi började också under hösten 1979 en intervjuomgång riktad mot företagssidan, som syftade till att få en historisk bild av datortomografins tillkomst och spridning. Vi tog inledningsvis kontakt med de stora röntgenföretagen som var representerade i Sverige Siemens, Philips och General Electric. Här fick vi intervjuer med personer som ansvarade för datortomografin. Vid dessa samtal blev vi uppmärksammade på betydelsen av att få insyn i EMI, det företag som utvecklat den första datortomografen, för att kunna skapa oss en bild av det tidiga skedet i utvecklingen. Via EMIs representant i Sverige försökte vi få komma till England för intervju med uppfinnaren Hounsfield samt med representanter för marknadsföring av datortomografin. Det lyckades inte för EMIs svenske representant att ge oss tillträde. Vid denna tidpunkt (sent hösten 1979) hade EMI kommit in i ekonomiska svårigheter och inom koncernledningen arbetade man redan på den sammanslagning med Thorn Electric som under våren 1980 skulle förverkligas. Vi lyckades dock via svenska röntgenläkare, som hade goda kontakter med engelska kollegor, som nära samarbetat med EMI i utvecklingsarbetet, få möjligheter att träffa Hounsfield och ytterligare ett par centralt placerade personer. Besöket hos EMI förverkligades i december 1979, veckan efter Hounsfield varit i Stockholm och hämtat sitt nobelpris. Under sommaren

1981 fick vi ytterligare några intervjuer med personer som haft avgörande betydelse i utvecklingen av datortomografi inom EMI.

Under en röntgenkonferens i Lund, juni 1979, som behandlade datortomografi, ultraljud och isotopteknik, främst för hjärta, lever och bukspottskörtel, kom vi också i kontakt med ytterligare ett antal företag verksamma inom medicinska diagnostekniker. De var Pfizer, Picker, Searle och Ohio Nuclear och intervjuer med deras representanter gav en bättre bild av den internationella marknaden för datortomografi. Vi blev också i detta sammanhang mera explicit uppmärksammade på andra diagnostekniker, främst ultraljudet, som var i snabb utveckling. Det fanns intressanta skillnader i hur datortomografin och ultraljudet utvecklats och spridits, vilket vi fann var av betydelse att något djupare studera i syfte att bättre förstå olika teknikers utvecklingsförlopp. Ultraljudet hade haft en långsam utvecklingsprocess. Inom röntgen hade denna teknik först under de senaste åren rönt något större intresse. Inte minst hade den svenska röntgenprofessionen visat ett svalt intresse för ultraljud. Det var således inget generellt fenomen att en ny medicinsk teknik fick en snabb spridning.

Detta fick till effekt att vi tog kontakt med tekniker och läkare som varit med i utvecklingen av ultraljud inom olika medicinska tillämpningar och kompletterade med kontakter med företag som tillverkar utrustning för diagnostiskt ultraljud. I ett senare skede breddade vi studien genom att också kort studera hur ultraljudet fått sina första tillämpningar inom industriell användning. Detta gjorde vi i syfte att förstå varifrån det medicinska ultraljudet härrörde.

Syftet var aldrig att göra någon fullständig eller lika omfattande studie av ultraljudet som av datortomografin, utan istället att studera ultraljudet på ett sådant sätt att det hjälpte till att bättre förstå datortomografins utveckling. Med ett sådant syfte blev det viktigt att just lyfta fram de aspekter av ultraljudet som visar på dess annorlunda karaktär och utveckling.

I intervjuarbetet arbetade vi mycket grovt med frågor inom följande områden.

För datortomografi:

- o Få en så bra bild som möjligt av hur Hounsfield kom på idén till datortomografin.
- o Vilken miljö som präglade EMI. Vad detta var för företag.
- o Var röntgenorganisationen och röntgenprofessionen stod i början av 1970-talet. Vilka konkurrerande metoder som fanns.
- o En bild av vad datortomografi egentligen är. Vilka uppgifter den kan utföra på ett bättre sätt än de tidigare metoderna.
- o Hur det konkreta utvecklingsarbetet av datortomografin gick till.
- o Vad som låg bakom EMIs beslut om att satsa på egen produktion. Hur det gick till när EMI förverkligade detta beslut.

- o De stora röntgenföretagens reaktion. Deras väg mot egen produktion. Karaktären på marknadsutvecklingen efter datortomografins inträde.
- o Marknadens fortsatta utveckling. Vad som hände med EMI och de andra företag som satsade på datortomografiproduktion.

För ultraljud:

- o Vilken/vilka som var de första tillämpningarna för ultraljud.
- o Hur det gick till när ultraljud började få en medicinsk användning. Vilka medicinska discipliner som utvecklade de första tillämpningarna.
- o Vilka företag som var tidiga med utveckling/tillverkning av ultraljuds-utrustning.
- o När och hur som ultraljudet blev intressant för röntgenprofessionen.
- o Hur ultraljudet kommer att utvecklas marknadsmässigt och teknologiskt.

Totalt har inom detta delprojekt om datortomografins utveckling och spridning cirka 80 personer intervjuats med följande ungefärliga fördelning.

- o 25 röntgenläkare, varav 5 utländska.
- o 25 företagsrepresentanter i 9 röntgenföretag.
- o 3 datortomografitekniker.
- o 10 ultraljudsläkare.
- o 15 företrädare för ca 10 ultraljudsföretag (i några fall inom röntgenföretag som också har ultraljud på programmet).
- o 5 ultraljudstekniker.

Till detta kommer att i de båda övriga delprojekten ytterligare cirka 70 personer intervjuats, bland annat:

- o 15 kliniska läkare inom 15 olika kliniker
- o 5 kliniska läkare inom 5 kliniker som inte utnyttjar datortomografi eller ultraljud.
- o 5 politiker eller sjukvårdsadministratörer.
- o 5 patienter.
- o 15 personer inom övrig röntgenpersonal.

Dessutom har, som tidigare sagts, omfattande observationer av röntgenmetoder och "skuggning" av röntgenpersonal gjorts.

Intervjuteknik

I intervjuerna gällde det främst att få olika aktörer att återberätta ett händelseförlopp eller i övrigt ge en egen berättelse. Intervjuerna får därmed, främst i inledningsskedet, en i huvudsak ostrukturerad form och det är viktigt att låta samtalets innehåll till stor del utvecklas mot frågor som aktören upplever som viktiga, områden denne har åsikter om. Intervjuarens uppgift är främst att få intervjupersonen att berätta och genom att ställa följdfrågor ge henne energi att fortsätta och fördjupa sin berättelse. Detta innebär inte att samtalen blir ofokuserade, tvärtom har vi vägletts av ovan givna ämnesområden som vi velat ha information om. Samtidigt gäller det att vara vaksam på information som man inte själv tänkt på och få intervjupersonen att lyfta fram sådana aspekter. Några av intervjuerna har varit mycket långa, upp till 3-5 timmar medan andra varit kortare. Genomsnittligt ligger de på 2-2,5 timmar per styck.

I idealfallet bör man arbeta med bandspelare för att vara säker på att allt som intervjupersonen säger kommer med i en riktig version. Många gånger visar det sig emellertid att människor blir ytterst hämmade och nästan direkt vägrar att yttra sig om vad som sägs tas upp på band. I varje fall blir man restriktiv med subjektiva åsikter och upplevelser och inriktar sig på att lämna sakinformation. Detta är naturligtvis viktigt i sig, men med vårt sätt att arbeta är också subjektiva uppfattningar av högsta vikt. Man måste därför vara observant på i vilka situationer som en bandspelare kan användas och de fall när den kan bli ett direkt hinder för intressant och spännande information. I det konkreta fallet har vi därför använt bandspelare främst för intervjuer med viktiga nyckelaktörer och för intervjuer på engelska, men i huvudsak arbetat med omfattande anteckningar. Det är då viktigt att man antecknar "allt" vad intervjupersonen säger i en otolkad version. Till detta kommer att det i vissa fall är direkt praktiskt omöjligt att använda en bandspelare, t ex när man spontant får en intervju utan några förberedelser.

Observations- och skuggningsmetod

I en första fas av våra observationer av röntgenmetoder, orienterade vi oss i röntgenmiljön med hjälp av en röntgenläkare. Vi blev observanta på mängden och variationen i olika metoder. Det var av avgörande vikt att förstå karaktären hos dessa metoder eftersom de så starkt präglade verksamheten. I observationerna fick vi god bild av personalens arbetssituation vid olika metoder och av patienten. Samtidigt kunde vi notera att röntgenläkarna och annan röntgenpersonal hade andra arbetsuppgifter än undersökningar, som vi inte förstod, eftersom vi enbart kunde iaktta att tex läkarna då och då försvann för att återvända efter ett tag. För att också få kunskap om framför allt röntgenläkarnas arbetssituation använde vi skuggningsmetoden, dvs vi följde läkare under 1-2 dagar under arbetet.

Genom att både observera olika röntgenmetoder och följa personalen i deras arbete skapades goda möjligheter att förstå hur röntgenorganisationen fungerade.

Under observations- och skuggningsarbetet var det av avgörande betydelse att föra löpande omfattande anteckningar och i princip notera allt som hände kring respektive metod, respektive vad observerade personer företog sig. Noteringar

gjordes om vad som konkret hände och var således inte några tolkningar av situationen, annat än att det naturligtvis sker ett omedvetet urval av den mängd saker som händer kring en undersökning.

Anteckningarna skrevs ut så snabbt som möjligt för att undvika informations-spill. De låg sedan till grund för det vidare observations- och skuggningsarbetet.

Observations- och skuggningsprotokollen fungerade sedan som underlag för beskrivning av karaktäristiska drag i röntgenläkarens och röntgenassistentens arbetssituation och vilka förändringar som datortomografin medfört. Dessutom gav observationerna underlag till att förstå vilka förändringar som dator-tomografin medfört för patienterna avseende kontakt med personalen, före-komst av obehag och oro, etc.

Syfte

Successivt utkristalliserades, främst inom ramen för ytterligare seminarier med uppdragsgivaren, ett antal frågeställningar eller annorlunda uttryckt ett antal gåtor som vi fann problematiska. Med gåtor menas då förhållanden som på något sätt är mystiska eller svårförståeliga. För att finna svar på dessa gåtor behövs ytterligare empiriskt material, som gör det möjligt att via en djupare tolkning få svar på dessa frågeställningar. De är:

- o Varför utvecklades datortomografin inom EMI?
- o Varför satsade EMI på egen produktion av datortomografi?
- o Varför kunde de etablerade röntgenföretagen ta över marknaden för datortomografi, fastän de var sena med sin egen etablering?
- o Varför var EMI inte ledande i utvecklingen av tredje och fjärde generationerna av datortomografi fr o m 1976?
- o Varför kunde EMI inte stanna kvar på marknaden?
- o Hur kunde datortomografin få en sådan snabb spridning, inte minst i jämförelse med ultraljudet?

Det främsta syftet är att försöka ge svar på dessa frågeställningar. Vi gör det med hjälp av en berättelse om datortomografins tillkomst och utvecklings-förlopp. Vi följer teknikens vandring mot sin tillämpning i syfte att få en förståelse av drivkrafter och hinder bakom utvecklingen.

De fem första frågorna kan besvaras med hjälp av studien av datortomografin och behöver således inte kopplas till ultraljudets utveckling. Däremot tar vi hjälp av ultraljudet för att kunna ge svar på den sista frågan. Denna kan till en början framstå som föga gåtfull. Det kanske kan verka självklart att en ny kraftfull medicinsk diagnosteknik får en snabb spridning. Emellertid är detta inget generellt fenomen. Konkret visar ultraljudet på detta. Andra exempel är akupunktur, som varit känd som diagnos- och behandlingsmetod i Kina under mycket lång tid, men först under de allra senaste åren uppmärksamrats i västländerna. Ett annat exempel är stetoskopet, som det tog mer än femtio år att etablera som ett instrument vid rutinundersökningar.

En snabb spridning av en bra diagnostisk teknologi är således inget generellt fenomen. För att kunna förstå vad som ligger bakom detta tar vi hjälp av ultraljudet och försöker visa på dess annorlunda historia och karaktär.

Ett andra syfte är att i en mera teoretisk analys försöka identifiera ett slags mönster i händelseförloppet och presentera några teoretiska begrepp med hjälp av vilka vi kan förstå händelseförloppet och belysa de övergripande frågeställningarna som presenterats på sid 17. Syftet är här också att sätta in teknologisk utveckling i ett bredare affärs- och branschutvecklingsperspektiv. Vi tar också i denna fas hjälp av de teorier för teknologisk utveckling och organisatorisk förändring som väglett oss och som presenteras i kapitel 2. Annorlunda uttryckt handlar det om att med hjälp av en fallstudie testa och utveckla teorier för innovationsförlopp och organisatorisk förnyelse.

När det i denna studie görs en kartläggning av just datortomografins utveckling är det egentligen inte bara på grund av ett intresse för just denna teknik. Vi har snarare sett det som ett ovanligt intressant fall av teknikutveckling över huvud taget. Den generella frågeställningen handlar om hur nya tekniker utvecklas och sprids och vilka drivkrafter respektive hinder som finns i dess väg. Perspektivet blir organisations- och branschteoretiskt, d v s arbetet präglas av en syn där en ny teknik måste studeras i ett socialt och organisatoriskt sammanhang. Förhoppningen är att studien skall bidra till en ökad förståelse för ovan nämnda frågeställningar även på ett generellt plan.

Några metodologiska utgångspunkter

Studium av aktörer i ett socialt sammanhang

En viktig iakttagelse är att en stor del av högteknologisk utveckling sker inom stora organisationer och vi är intresserade av vilken betydelse detta får för utvecklingsförloppet.

En annan utgångspunkt är övertygelsen om att för förståelse av utvecklingsprocesser är det viktigt att ha ett djupt historiskt angreppssätt. Det räcker inte med att titta på den konkreta teknikens historia utan det sociala och tekniska systemet vari den sätts in måste också belysas. För att ge en bild av nuet måste man förstå det historiska sambandet. Inom ramen för historien är det viktigt att se vilka som varit aktörer i olika skeden av förloppet. Vår organisationsteori är aktörsorienterad, d v s vi ser organisationen som ett system av aktörer som handlar. En handling skiljer sig från ett beteende på så vis att den förra innefattar en avsikt, tolkning eller förståelse av situationen hos den som handlar, medan beteendet bara innefattar det utifrån iakttagbara. (3)

Vid studiet av datortomografen enligt detta synsätt blir det centralt att beskriva de handlande aktörernas subjektiva uppfattning av situationen och sedan försöka förstå vad det är som bestämmer dessa subjektiva uppfattningar. Vi utgår ifrån att dessa subjektiva uppfattningar bestäms av i princip tre slag av faktorer:

- o Det synfält som aktören har och de erfarenheter han gör i sin roll i det dagliga arbetet på grund av specialisering och arbetsdelning. Aktörer har

olika synfält och erfarenheter och deras uppfattning av situationen kan förväntas skilja sig åt som ett resultat av detta.

- o Aktörens personlighet och erfarenheter och historia utanför organisationen.
- o Aktörens historiska erfarenheter i sin roll inom organisationen.

Det är således viktigt att uppmärksamma att aktörerna är verksamma inom organisatoriska ramar, som både ger ökade möjligheter respektive ställer begränsningar för individen. Därmed blir också aktörernas handlande annorlunda och förstås endast om man beaktar även den organisatoriska nivån. Det finns i organisationer vissa gemensamma värderingar och normer och t o m ett slags kultur, som har betydelse för hur olika aktörer handlar och vad som de över huvud taget uppmärksammar. Det finns också strukturella drag som delvis bestämmer, framför allt vid ett historiskt perspektiv, hur organisationer inom ett visst professionellt system utformas.

Därmed är det väsentligt att, förutom aktörerna, belysa de organisationer såväl som den bransch som de medicinsk-tekniska företagen tillhör. Det är också nödvändigt att ge en god bild av röntgenorganisationen, hur den vuxit fram och vilka viktiga drivkrafter som spelat in. Det handlar således om att med hjälp av en i huvudsak processuell/historisk förloppsbeskrivning av dator-tomografins och ultraljudets utveckling och spridningsprocesser skapa förutsättningar för att förstå bakgrunden till de frågeställningar vi behandlat under Syftet. Det är viktigt att observera att det handlar om en dynamisk förändringsprocess och inte beskrivning av något statiskt tillstånd.

En första beskrivningsnivå gäller aktörernas subjektiva uppfattningar av verkligheten. En andra beskrivningsnivå avser den konkreta organisatoriska och sociala struktur, i historien och nuet, som bestämmer aktörernas erfarenheter.

I en efterföljande fas blir fallstudien föremål för analys. Vi försöker finna svar på ovan nämnda gåtor med hjälp av den historiska berättelsen om dator-tomografins och ultraljudets utveckling. Analysen sker i princip i två steg:

Dels en första analys av frågeställningarna med hjälp av det konkreta händelse-förloppet, där utgångspunkten är att förstå enskilda aktörers handlande. I denna analys tar vi konkret utgångspunkt i de frågeställningar som presenterats i Syftet. Angreppssättet bygger på ett synsätt där en social verklighet förstås bäst som ett system av subjektivt handlande individer och grupper. Vi tror inte på någon socialt objektiv verklighet. Den konstrueras av olika individers sätt att handla med utgångspunkt i en egen verklighetsuppfattning. Till synes svår-förståeliga handlingar blir då logiska sedda från aktörernas egna utgångspunkter.

Dels en mera teoretisk analys där vi försöker identifiera ett slags mönster i händelseförloppet och presentera några teoretiska begrepp med hjälp av vilka vi kan förstå händelseförloppet och belysa de övergripande frågeställningarna.

Teoriutveckling med hjälp av fallstudier

Med fallstudier brukar man avse en undersökning som endast omfattar ett eller

ett fåtal fall, vilka studeras inera detaljerat och ur ett flertal dimensioner. I traditionell forskningsmetodik har fallstudier framför allt ansetts vara särskilt lämpliga vid s k explorativa studier för att formulera eller precisera hypoteser. I likhet med Normann (1975) menar vi att en fallstudie inte bara kan utgöra grund för att formulera och precisera hypoteser. Den kan också med fördel användas för teoriutveckling. De kanske mest kända företrädarna för denna syn är Glaser & Strauss (1968), vars vetenskapsteoretiska bas kan hämtas hos bl a Schutz (1954).

Fallstudier har fått en bred användning inom organisationsforskningen och stor betydelse för den organisationsteoretiska utvecklingen med företrädare som Burns & Stalker (1961), Woodward (1965), Lawrence & Lorsch (1967), Rhenman (1969) och Normann (1975). Många forskare har ansett fallstudien som den kanske bästa metoden för att förstå en organisations hela komplexitet och att undvika att arbeta med artificiella och överförenklade studier.

En viktig vetenskapsfilosofisk utgångspunkt för denna studie är att den, eftersom det gäller studium av mänskligt beslutsfattande, gäller aktörer och deras sociala verklighet. Människor lever, tänker och handlar med utgångspunkt från sin sociala verklighet och som social forskare studerar vi levande, tänkande och handlande varelser (molekyler, atomer, elektroner, d v s naturvetenskapens studieobjekt fungerar däremot inte med utgångspunkt från någon social verklighet). Enligt Schutz (1954) är den samhällsvetenskapliga forskningens huvuduppgift att uppnå organiserad kunskap om människans sociala verklighet.

Socialvetenskapernas primära mål är att uppnå organiserad kunskap om den sociala verkligheten, d v s verkligheten som den uppfattas och uttolkas av och vad den betyder för människor. Verkligheten är sålunda inte oproblematiske, självklar eller av naturen given, utan skapad via mänsklig kommunikation, språk m.m. Detta är den avgörande skillnaden. Naturvetenskaperna och olika former av logisk empirism tar den sociala verkligheten för given, medan den i själva verket är själva studieobjektet för den socialvetenskapliga forskningen.

Med ett sådant synsätt kan man inte inskränka sig till att enbart studera synligt och observerbart beteende och handlingsmönster. I så fall exkluderar man automatiskt vissa dimensioner i den sociala verkligheten som utgör viktiga ingredienser i denna, men som inte är direkt observerbara. Samma synliga beteende kan ha helt olika betydelser för de inblandade personerna.

Om man vill förstå människor, deras handlingar och vad dessa betyder har man i princip goda förutsättningar att göra detta om man känner till målen för och motiven bakom dessa handlingar. På samma sätt kan vi förstå vad konkreta objekt betyder om vi känner till de mänskliga handlingar som har skapat objektet ifråga.

Denna "förståelseorienterade metod" är subjektiv i den meningen att dess mål är att klargöra vad en aktör menar med sina handlingar, d v s vad handlingen betyder för honom själv och inte vad handlingen betyder för hans partner eller för en forskare. Det är denna subjektiva uttolkning av handlingar, beteenden och ageranden som är ett av Webers berömda postulat, postulatet om subjektiv uttolkning.

För socialforskaren är därför en av huvuduppgifterna att förstå de studerade aktörernas sociala verklighet. Vad en aktör gör är beroende av hans verklighetsuppfattning, hur han definierar sitt problem, vilket problem han anser sig vilja lösa och inte minst vilka organisatoriska och sociala miljöer han verkar i. För att förstå vad en person gör måste vi sålunda först förstå målet för och motiven bakom hans handlingar.

Naturligtvis är det bara möjligt att i vissa situationer och då bara fragmentariskt förstå en enskild persons mål och motiv. Forskarens roll är inte heller att få en total bild av aktören utan istället att förstå aktörer och handlingar som typfall. Forskaren försöker bygga typmönster av aktörernas motiv och handlingar och på så sätt komma åt den subjektiva verkligheten. Med utgångspunkt från sina observationer ställer forskaren frågan om man kan urskilja något typiskt beteende eller något typiskt handlingsmönster i det som vi observerar. Dessa typmönster vidareutvecklas sedan genom att supermedvetna aktörer knyts samman med typmönstret. Det gäller sålunda att ställa frågan vad det är för medvetenhet som gör att det observerade typmönstret är så logiskt för de inblandade aktörerna. För en utomstående kan givetvis det studerade typmönstret uppfattas som oförståeligt. Denna supermedvetenhet kan sedan beskrivas i termer av föreställningar, mål, syften, krav, förväntningar, roller, perspektiv etc. Typfallen måste också vara logiskt konsistenta och adekvata. Det betyder att om en mänsklig handling beskrivs med hjälp av typifieringen ifråga, måste denna vara begriplig både för den som utför handlingen och för andra. Typiska handlingsmönster kan uppträda i olika situationer, som kännetecknas av olika restriktioner och villkor, men om man har en god förståelse av typiska handlingsmönster och de villkor och förutsättningar som gäller i den studerade situationen, finns det goda förutsättningar att förstå den studerade situationen.

En annan mycket grundläggande tankegång, inspirerad av Glaser & Strauss (1968) är att teorier skall genereras med utgångspunkt från data, d v s vara förankrade i empiriska observationer.

Teoriutveckling enligt detta synsätt kan bäst beskrivas som en inlärningsprocess som sällan sker i en disciplinerad, sekvensiell process som inleds med problemformulering, följs av datainsamling och avslutas med analys och teoriutveckling. Istället sker ofta arbetet genom att forskaren växelvis engagerar sig i problemformulering, datainsamling och teoriutveckling.

Genom att växelvis arbeta på olika plan ändras ständigt förutsättningarna för hela forskningsprocessen. Genom teoretiska studier kan t ex den ursprungliga problemformuleringen komma att ses i ett nytt ljus och kan behöva förändras. Detta kan i sin tur ge nya teoretiska uppslag och få konsekvenser för datainsamlingsmetoderna och den typ av data som behövs. Vid konfrontationer med den empiriska verkligheten kan det visa sig att saker som inte indikerades av teorin var intressanta och att det därför finns anledning att modifiera den teoretiska föreställningsramen. Detta kan i sin tur ge nya uppslag beträffande datainsamling, ge anledning till modifierad problemformulering, etc.

Teoriutvecklingen sker genom sk jämförande analys, en metod som enligt Glaser & Strauss (1968) är fullt likvärdig med experimentella och statistiska metoder, men särskilt väl lämpad för just teoriutveckling.

Grundtanken är att teorigenereringen sker genom att begrepp, kategorier och deras egenskaper, handlingsstrategier, etc genereras från data. De data som genererade begreppen och egenskaperna används sedan för att illustrera begreppen och egenskaperna. Med utgångspunkt från begreppen och deras egenskaper söks sedan efter mönster i det studerade fenomenet i syfte att utveckla alltmer sammanhängande föreställningar och teorier om fenomenet, i detta arbete således om teknologiska utvecklings- och spridningsförlopp.

Den grundläggande poängen är att det vid teoriutvecklande forskning inte handlar om att verifiera respektive falsifiera från början uppställda teorier, utan datas viktigaste funktion är att stimulera och generera konceptualisering och teorier med vars hjälp situationer, problem och händelser kan beskrivas. Man får således inte blanda ihop teoriprövningslogiken med undersökningar som syftar till teoriutveckling.

De begrepp som genereras skall enligt Glaser & Strauss (1968) ha två grundläggande egenskaper. De skall vara analytiska, d v s möjliggöra en beskrivning av karakteristiska egenskaper hos verkliga ting. De skall vidare vara stimulerande, d v s ge en meningsfull bild så att de, stödda av lämpliga illustrerande exempel, kan kopplas ihop med läsarens egna erfarenheter.

Nästa steg i teoriutvecklingen är formuleringen av hypoteser om relationer mellan kategorier och deras egenskaper. Huruvida de utvecklade typifieringarna är de rätta beror på vad de skall användas till, i vilket syfte de skall tillämpas. Vid teorigenerering är poängen att utveckla kategorier och deras egenskaper, inte att verifiera dem. Skillnaden går sålunda inte mellan något som är rätt eller fel, utan vad som är meningsfyllt respektive icke meningsfyllt. Exempelvis var det meningsfyllt för Burns & Stalker (1961) att beskriva företag i respektive mekanistiska och organiska organisationer, liksom det för Normann (1975) var meningsfyllt att beskriva innovationer i termerna variationer respektive omorienteringar.

När man arbetar med en sådan metod är det viktigt att göra teorin trovärdig för läsaren. Det är givetvis av grundläggande betydelse att läsaren kan förstå den teoretiska referensramen som den har vuxit fram ur. Därför måste läsaren exponeras för data från den studerade verkligheten. Standardmetoden för detta är att presentera data som bevis för slutsatser och härigenom visa hur forskaren utvecklar teorin med hjälp av data. Det gäller sålunda att finna karakteristiska illustrationer, det kan vara direkta citat, avrapportering av anteckningar från fälten, men också återberättande av och återgivande av fallstudier. Detta arbete innehåller en omfattande och i vissa stycken detaljrik fallbeskrivning just för att skapa förutsättningar för läsaren att förstå ur vilken empiri som tolkningen och teoriutvecklingen härrör. Det är också viktigt att läsaren kan bilda sig en egen uppfattning av händelseförloppet. Därmed har data medtagits som sett ur ett snävt perspektiv inte direkt kan kopplas till tolkningen och teoriutvecklingen.

2. VÄGLEDANDE TEORIER OM INNOVATIONER OCH ORGANISATORISK FÖRNYELSE I EN HISTORISK BELYSNING

Detta arbete är, som inledningsvis sades, framtaget inom SIAR, en organisation där vi menar att kunskapsutveckling med fördel sker utifrån empiriska observationer, inte minst i konkret arbete tillsammans med kravställande klienter, d v s i samarbete mellan teoretiker och praktiker.

Grundläggande utgångspunkt för vårt synsätt är att se organisationer såväl som hela branscher som sociala system utsatta för mer eller mindre dynamisk förändring. Det är viktigt att observera att sociala system inte är några objektiva konstruktioner utan präglade av en subjektiv logik förankrad hos systemets aktörer och framvuxen i en historisk process. För att förstå sociala system måste man således studera aktörer insatta i organisatoriska och sociala sammanhang.

Det är också ofta mera fruktbart, inte minst ur normativ synvinkel, att studera skillnader mellan olika system än att leta efter regelbundenheter.

I detta kapitel ges en översiktlig bild av de teoretiska ansatser om innovationer och deras spridning och organisatorisk förändring som har påverkat vårt sätt att se på teknologiska utvecklingsförlopp. En övergripande utgångspunkt är att teknologisk förändring såväl som produktutveckling måste ses i ett organisatoriskt och socialt sammanhang. Det är inte intressant att se på den individuella skaparkraften isolerat utan den måste sättas in i samspelet mellan individ-teknologi-organisation-omgivande miljö. Det är teorier som kan hjälpa oss att förstå ett sådant samspel som vi tar utgångspunkt i. Det är således ingen fullständig eller traditionell litteraturgenomgång. Syftet är att presentera den teoretiska referensram som arbetet är framtaget i, ur vilken den efterföljande tolkningen härrör och till vars utveckling vi försöker bidra.

De läsare som inte är intresserade av denna teoribeskrivning kan utan att förlora helheten hoppa över kapitlet.

En kort förhistoria

Någon egentlig teori om hur tekniska förändringar initieras och utvecklas fanns inte förrän fram emot 1950-talet. Naturligtvis hade man långt tidigare intresserat sig för tekniska förändringar och det finns en omfattande litteratur som i detalj berättar om hur olika uppfinningar kom fram (Jewkes, Sawers & Stillerman, 1969, är ett exempel). Däremot görs inga försök att ge händelserna någon organisationsteoretisk tolkning, utan avser konkreta beskrivningar av förlopp. Berättelserna pekar på att uppfinningarna skedde i ett organisatoriskt sammanhang, ofta inom ramen för en grupp av kollegor och inte isolerat. Den skillnaden framstår mot dagsläget att uppfinningar under 1800-talet och början av 1900-talet i stor omfattning skedde inom ramen för laboratorier anknutna till universitet, medan idag betydande teknikutveckling sker inom företag. De stora organisationerna tycks ha fått en markant ökad betydelse för utvecklingen. (1)

Långt in på 1900-talet var nationalekonomin den totalt dominerande vetenskapen för att förklara ekonomiska sammanhang. Längre intresserade man sig

föga för tillväxt och för förändringsmekanismer. Man arbetade i huvudsak med tre variabler, kapital, arbetskraft och teknik. Den sistnämnda faktorn ansågs som en restpost och användes för att "förklara" den tillväxt som inte enbart kunde hänföras till de två andra faktorerna. När en mer avancerad konjunkturteori växte fram under 1920-talet med namn som John M. Keynes, och i Sverige Stockholmsskolan med bl a Gunnar Myrdal och Bertil Ohlin, ökade också intresset för tillväxtmekanismer. Man ville få en ökad förståelse kring förändringsförlopp i samhället och började problematisera kring teknikfaktorn. Mer och mer ökade medvetenheten om att teknikfaktorn spelade en större roll än man antagit och därmed att arbete och kapital hade lägre förklaringsvärde. Hill har i senare forskning sett stöd för att teknikfaktorn spelar en väsentlig roll för den ekonomiska tillväxten (Hill & Uttberback ed. 1979, s. 4).

En nationalekonom som tidigt intresserade sig för konjunkturförändringar var Joseph Schumpeter, en österrikisk ekonom som redan 1912 gav några första ansatser till en teori, som han vidareutvecklade i ett omfattande arbete om konjunkturcykler (Schumpeter 1934). Han har kallats innovationsteoriernas fader just genom att han problematiserade kring teknikfaktorn.

En ny syn på nationalekonomin växte fram under 1930-talet, där statsmakterna fick nya instrument för att styra samhällsutvecklingen. Det blev möjligt att på ett annat sätt än tidigare hålla den ekonomiska utvecklingen under kontroll och dämpa effekterna av konjunkturcykler. Däremot utvecklades en ekonomisk politik för att medvetet styra benägenheten till teknologisk utveckling först under 1960-talet i Sverige. Då talades om "en aktiv näringspolitik" och man skapade instrument (t ex Styrelsen för Teknisk Utveckling) som hade direkt syfte att främja en teknologisk utveckling.

På så sätt blev det länge nationalekonomer som styrde inriktningen på forskningen. Man intresserade sig för variabler och strukturer på samhällsnivån som kunde förklara tillväxt och förändringar och var inte inriktade på att förstå förloppet på en organisatorisk mikronivå.

Om vi flyttar vårt intresse till företagsekonomin får vi ytterligare förståelse för nationalekonomins totala dominans ända fram till 1960-talet. Längre dominerade tekniker för bokföring, försäljning, produktion o s v. Någon helhet skapades först egentligen mot 1950-60-talen, då man började utveckla en organisatorisk ram kring dessa teknikområden. Vi hade alltså länge enbart fragmentariska ansatser till teorier, en specialisering på olika delområden som inte passade som redskap för forskning om förnyelseprocesser. Det som skrevs fick också prägel av praktiska råd, t ex hur en forskning och utvecklingsenhet skulle organiseras.

När samhällsplanerare sökte instrument för att styra nyutveckling upptäckte man att man föga förstod hur förnyelse egentligen gick till. Under 1960-talet började empiriska studier av innovationers uppkomst att tas fram. Man försökte beskriva källorna till innovationer och fann exempelvis att de tycktes ha större benägenhet att uppstå i små än i stora företag. Man försökte rekonstruera innovationsförlopp och sedan dela upp dem i olika stadier. Det uppkom föreställningar om s k innovationskedjor, vilket fick till följd att man försökte konstruera medel att påverka och styra förloppen med. Innovationer sågs i huvudsak som ett problem om vilka beslut som skulle fattas och vilka styrinstrument som skulle användas. Samtidigt upptäcktes att man ofta fick

effekter rakt motsatt de avsedda, d v s styråtgärder förkvävde ofta nyskapande och skapade enbart byråkrati.

I det följande skall vi presentera ett antal teorier som successivt utvecklade ett annorlunda sätt att se på förnyelse och som enligt vår uppfattning ger en mera verklighetsförankrad bild av förloppen. Först presenterar vi emellertid ett modernt exempel på en, enligt vår uppfattning, förnämlig forskning om teknologisk förändring med ett makroperspektiv och som kan anses vara en modern efterföljare till Schumpeter. (2)

En konjunkturteori baserad på bristande teknologisk förändring

Gerhard Mensch är professor i naturvetenskap i Berlin. Han har länge sysslat med studium av teknologiska förändringsförlopp på en makronivå. I boken "Stalemate in Technology" (Mensch, 1979) utvecklar han ett försök till en sammanhängande teori för konjunkturförlopp baserad på teknologiska förändringar. Ledande tanke är att ekonomisk stagnation sammanhänger med bristande antal innovationer. Det finns s k basinnovationer med vars hjälp nya branscher etableras och existerande branscher förändras. Dessutom finns innovationer som enbart innebär successiva förbättringar, där nyhetsgraden successivt sjunker. Slutligen övergår utvecklingen till s k pseudoliknande innovationer, d v s förbättringar av en mycket marginell karaktär.

I tider av hög efterfrågan favoriseras förbättringar inom ramen för existerande teknologier. Successivt blir dessa förbättringar av allt mer marginell betydelse, vilket leder till ett slags stopp i den teknologiska utvecklingen. Detta s k teknologiska stillastående uppträder i perioder då efterfrågan ligger under tillgänglig potential. Successivt skapas drivkrafter för att utnyttja denna "underefterfrågan" då man strävar efter jämvikt. Detta uppnås genom nya produkter och serviceformer som bättre tillgodoser behov.

Mensch är influerad av Schumpeters tidigare framtagna teori om innovationer som bärare av konjunkturcyklerna. I en situation av teknologiskt stillastående finns många övermogna branscher med standardiserade produkter. Detta skapar svårigheter då marknaden inte växer längre. Man får identitetskriser i de företag som tillhör krisbranscher. Nedgång i efterfrågan innebär för enskilda företag statusförluster och maktförskjutningar. En sådan situation av kris är enligt Mensch en bra grogrund för nyheter, där man utnyttjar instabiliteten för att föra in nya tekniker.

Historiskt har man sett en utveckling från ett stagnationstillstånd till ett annat. När teknologier sprids sker successivt en ökad produktion av likartade varor. Förändringarna av dessa teknologier blir allt mindre betydelsefulla och därmed föga värda att satsa kapital på. En allt mindre andel av intjänade pengar reinvesteras inom samma område och inom samma teknologi. Samtidigt finns p g a koncentrationen på existerande teknologier brist på investeringsobjekt i alternativa teknologier. Endast en innovativ lösning kan hjälpa samfundet att komma ur stagnationsfaser. Enligt Mensch börjar också flera branscher att stagnera samtidigt, vilket inte gör det avgjort bättre med ett pluralistiskt samhälle.

Nya basinnovationer som kan tillgodose nya behov och skapa varaktiga jobb kan inte utvecklas tillräckligt snabbt. Det har under de senaste 20 åren funnits

mycket få verkliga basinnovationer som kunnat skapa nya branscher. Stagnationen under 1960-och framför allt 1970-talet sammanhänger med alltför få basinnovationer under 1950-och 1960-talen, som kunnat ligga till grund för expansion under 1970- och 80-talen. Nu lägger vi istället ner kapital i 20-25 år gamla teknologier som lättvattenreaktorer, datorer, o s v.

Genom bristen på nya basinnovationer skapas en stor del kapital som inte används för produktiva investeringar. Detta fenomen kan enligt Mensch inte lösas genom att staten sätter igång verksamhet med kvantitativa medel utan snarare genom att skapa en struktur och stabiliserande forsknings- och teknologipolicy. Innovationer växer från ett individuellt plan mot ett makroplan och är aldrig i sitt ursprung av någon större omfattning.

Basinnovationer har som följd nya aktiviteter som avviker från tidigare former. Det skapas därmed nya marknader och branscher. Fortsatta utvecklingssteg från en basinnovation kallar Mensch förbättringsinnovationer. Detta kan vara förbättrad produktkvalitet, större tillförlitlighet, effektivare produktionssätt o s v. Det är således två innovationstyper med helt olika produktionssätt o s v. Under normala förhållanden utvecklas marknadsekonomin via förbättringsinnovationer som skapar ett varierat utbud av varor. Marknaden föredrar tekniska innovationer framför sociala och förbättringsinnovationer framför basinnovationer. Detta förhållande förändras dock vid situationer av teknologiskt stillastående. Endast i en sådan situation är den kapitalistiska ekonomin beredd att ta emot basinnovationer. Då ger etablerade områden inte tillräcklig kapitalavkastning och därmed finns få lukrativa investeringsobjekt. Detta är en förklaring till att basinnovationer kommer i samlad form som lösning på stagnationsfenomenet. Med en basinnovation menar Mensch den första gången som en ny teknologi tas i bruk och kommersialiseras. Successivt etableras sedan produktion och marknad. Här skapas en inflexibel organisation, där det i ett moget stadium är speciellt svårt att ändra det etablerade systemet eller att få genomslag med innovationer som inte är av enbart pseudokaraktär. Företagen har successivt vuxit sig stora och ser koncentration som framgångsformeln.

Karaktären på förändringsförlopp inom enskilda branscher är enligt Mensch överflyttbar till nationell nivå. Produktlivskurvan kan appliceras på hela nationers ekonomiska utveckling, där spridandet av teknologier via ledande industrigrenar är det viktigaste inslaget. Konjunkturer följer en vågform med stadierna välbefinnande, recession, depression och återhämtning. Denna modell benämner Mensch metamorfosismodellen. Den innebär att samhällsekonomin karakteriseras av långa perioder av tillväxt och relativt korta intervaller av turbulens. Stagnationen löses således genom innovationer på ett mikroplan.

Mensch behandlar också kopplingen uppfinningar-innovationer. Dessa två fenomen är inte nära kopplade till varandra på kort sikt. Under 1953-1973 såg man få basinnovationer men desto fler förbättringsinnovationer. 1930- och 40-talen såg ett flertal nya teknologier växa fram, såsom jetmotorer, television, datorer o s v. Dessa var grunden för expansionen under 1950- och 60-talen. Man måste skilja mellan uppfinnings- och innovationsprocesser. Mellan dessa behövs en kunskapstransferering. I tider i välmåga finns alltför lite intresse att introducera basinnovationer. Övergång från stagnerande branscher till nya sker för sent och för sakta. Det saknas överföring av information i tillräcklig omfattning mellan uppfinningsprocesser och innovationsprocesser. Inom industrin finns ständigt en underinvestering i forskning och utveckling då det är ett svårbedöm-

bart och riskfyllt område. Vinstmotivet skapar förtur för korta projekt med snabba vinster.

Mensch undrar om basuppfinningar följer samma förlopp som basinnovationer. En basuppfinning är ett resultat av en vetenskaplig revolution/byte av paradig. I sina studier fann dock Mensch att man inte kunde framgångsrikt förklara basinnovationernas förlopp med motsvarande förlopp avseende basuppfinningar. Det är snarare hinder i kunskapsöverföring mellan uppfinnings- och innovationsprocesserna som är det karakteristiska. En viktig orsak till detta är den allt starkare uppdelningen med forskning å ena sidan och produktion/marknadsföring å den andra. Här skapas olika mål och innovationer begrävs lätt i detta system.

Mensch vederlägger också en vanlig uppfattning om att innovationer växer fram mycket snabbare idag än förr. Utveckling, provning, testning, o s v av innovationer måste ta sin naturliga tid. Tempot i nya och oexploaterade fall är lågt medan det är högt inom kända teknologier som datorer, jetmotorer, syntetiska varor etc. Däremot har "avantgarde-innovationer" idag lika lång utvecklingsperiod som förr, medan innovationer som följer familjära vägar har kortare. Hastigheten varierar således med grad av radikalitet hos innovationer och mottaglighet i systemets olika sektorer. Anledningen till att man trott att innovationsprocesserna idag går snabbare är istället att ett mycket stort antal pseudoinnovationer kommit fram och därmed gett en felaktig bild. Däremot tycks inte basinnovationer generellt utvecklas snabbare nu än förr.

Sammanfattningsvis kan sägas att Mensch ser depressionen som basinnovationernas moder. Då försvinner många hinder gentemot nya idéer och man är beredd att satsa kapital och arbetskraft i nya branscher. Samtidigt har innovationer som snabbt kan appliceras lättast att slå igenom och inte de som är mest nödvändiga av sociala skäl, kanske då främst sociala innovationer. De med bättre, men med längre utvecklingstider, konkurreras ut av snabbare, vilket leder till att sociala hänsyn kommer lägre på prioriteringslistan. Kortsiktiga vinstmotiv är den starkare drivkraften i förhållande till långsiktiga sociala mål.

En första sammanhängande organisationsteori

Mot slutet av 1950-talet kom ett arbete av amerikanerna James March och Herbert Simon, (March & Simon 1958) med titeln "Organizations", som var ett försök att utveckla en heltäckande teori för hur organisationer fungerar. Arbetet tog utgångspunkt i ett stort antal teoretiska och empiriska studier. Simon hade redan 1947 givit ut ett banbrytande arbete, där han på ett excellent sätt slog sönder nationalekonomins teori om "the economic man", dvs den fullt rationella beslutsfattaren som hade tillgång till full information och som strävade efter att optimera sina beslut (Simon 1947). Simons bidrag gick ut på att ingen beslutsfattare har all information och inte heller drivs av en strävan att optimera varje beslut, utan snarare att enbart satisfiera. Sökandet efter information upphör när man nått ett för beslutsfattaren tillfredsställande resultat. För att förstå March & Simons syn på organisatorisk förändring bör man ha detta tidigare arbete i åtanke.

March & Simons huvudbidrag var en teori för förståelse av den rådande verksamheten, men de gav också viktiga bidrag till en teori för organisatorisk

förändring. March och Simon skiljer på existerande program och förändringar i detta program. Innovationer innebär förändringar i det rådande programmet. Det finns i organisationer en naturlig strävan att bli kvar i existerande program, bl a på grund av nedlagda kostnader i det nuvarande organisatoriska systemet. Varje förändring av programmet är förknippat med kostnader. Detta ger till resultat att man gärna fortsätter gällande program. För att det skall finnas energi till förändring krävs otillfredsställelse med existerande program i någon form. Därmed finns en fundamental skillnad mellan teorier för förändring och teorier för det existerande programmet. Det finns naturliga krafter för att bevara organisationen i existerande verksamhet.

Två begrepp som är centrala i March & Simons teori är "inaction" och "action", eller i en fri översättning att handla respektive inte handla. Det ligger närmast till hands att inte handla då detta inte ställer krav på några resurser, vilket ett aktionsprogram kräver. Det är viktigt att uppmärksamma att båda begreppen innebär beslutsfattande och att inte göra något är ett beslut lika väl som att göra något.

March & Simon ser innovationer som en fråga om problemlösning. Här tar man hjälp av sitt minne, de erfarenheter som individ respektive organisation har från tidigare arbete. Tänkbara lösningar på ett problem söker man först inom de kunskaper man redan har. Detta leder till att vi får ett reproduktivt beslutsfattande. De flesta typer av problem kan lösas med hjälp av tidigare erfarenheter och blir föremål för rutinemässiga åtgärder. Däremot kräver innovationer oftast ett mera aktivt problemlösande. Innovationer blir med detta synsätt närmast en process där man söker efter information. March & Simon tar utgångspunkt i ett planeringssynsätt, där det gäller att lägga ihop ett stort antal element för att få ihop en lösning på problemet. I denna process letar man först på nära håll och om man inte finner en lösning här går man vidare tills man uppnår ett första tillfredsställande resultat. Här ser vi en stark parallell till Simons tidigare arbete om beslutsfattande.

Problemlösning kan ske på både individuell och gruppnivå. Lösningarna blir bättre och man kommer snabbare till resultat om det sker på gruppnivå. Det är förändringar i den omgivande miljön som får organisationen att förändra sig. Innovationsförloppen blir snabbare ju högre förändringstakten är. Författarna laborerar också med begreppet organisatorisk stress. För innovationer får stressen på organisationen inte vara för låg och inte för hög. Vid för låg stress skapas ingen energi till förändring och vid för hög utvecklas det enbart till frustrationer och handlingsförlamning.

Ett sätt att öka kravet på satisfieringsnivån är att institutionalisera innovationsverksamheten till en formell enhet. En sådan enhet skapar fria resurser, slack, som gör ett innovativt arbete möjligt. En annan viktig faktor för innovationsverksamheten är den kommunikationsstruktur som finns i organisationen. March & Simon ser två principiella funktioner, en investeringsfunktion och en entreprenöriell funktion. För att få igång innovativ verksamhet krävs oftast en mäklarroll som kan knyta dessa båda resurser tillsammans.

Man ser också helt olika typer av innovationer beroende på den innoverande enhetens kontaktnät. Är den knuten till en försäljningsavdelning får resultaten en helt annan karaktär än om den är knuten till en mera professionell och teknisk kultur. I innovationsprocessen måste ett flertal gränser överträdas, där

en filtrering och sortering sker. Verksamheten har olika karaktär beroende på vilka gränser som överträdes. March & Simon har också iakttagit att innovationer i större omfattning sammanhänger med "lån" än från uppfinningar, en faktor som till stor del beror på att man i förra fallet kan spara pengar för organisationen.

March & Simon diskuterar också på vilken organisatorisk nivå som innovationer har möjligheter att växa fram. De skiljer i huvudsak på en lägre nivå där operationella mål är möjliga att arbeta med och en högre nivå med icke operationella mål. På den lägre nivån arbetar man med program inom nuvarande gränser, medan det på den högre nivån gäller att få fram nya program som kan ligga utanför nuvarande organisatoriska gränser. Innovativ verksamhet kan enbart ske i enheter som inte är upptagna av operationella aktiviteter.

Avslutningsvis kan sägas att March & Simon ger en teori för innovationer, som karakteriseras av begränsad rationalitet i dynamiska beslutssituationer.

En empirisk "milstolpe" om innovationer

I början av 1960-talet hade vi genom March & Simon fått ett första försök till en heltäckande teori om innovationer. Samtidigt inriktade sig dessa två författare på den inre organisationen och relaterade i stort sett inte innovationsprocesserna till den omgivande miljön. Den sågs enbart som en stimulansfaktor som initierade förändringsprocesser inom organisationer.

Ett betydande steg framåt mot en förståelse av innovationer togs 1961 då Burns & Stalker (1961) publicerade ett omfattande empiriskt arbete där man tittat på 20 st företag i Storbritannien, i huvudsak inom elektroniksektorn. Syftet var att studera organisationers anpassning i en föränderlig miljö. De studerade företagen hade under andra världskriget byggt upp mycket stela organisationer, en tid då man i huvudsak inte arbetade med någon naturlig marknad utan inriktade sig på att ta fram produkter åt försvaret. Efter krigets slut förändrades den yttre miljön, samtidigt som företagen tycktes ha mycket svårt att möta de nya krav som en marknadsstyrd omgivning ställde. Teknologiska framsteg gick parallellt med framväxandet av nya marknader och en betydande förskjutning från statlig till privat sektor blev en nödvändighet. Burns & Stalker förväntade sig att företagen skulle utveckla något slags ny kompetens för att klara av de förändringar som marknad och teknologi ställde. I sitt empiriska arbete fann de dock att flertalet företag inte förändrat sin struktur för att möta miljöförändringar. Detta fann man mystiskt och utvecklade en teori som kunde förklara detta fenomen.

Tidigt under arbetet utvecklade de en hypotes om relationer mellan typ av miljö och organisationsstruktur. Man lanserade de två begreppen mekanistiska respektive organiska strukturer. Den förra förväntade man sig finna i organisationer som verkade i en relativt stabil miljö, medan den senare formen kunde hänföras till en mera föränderlig miljö. (3)

Dessa två begrepp var i huvudsak det arbetsredskap som Burns & Stalker använde vid studium av de brittiska företagen och blev alltså inget resultat av vunna erfarenheter härifrån. Istället inriktades arbetet mot att förklara varför en förväntad övergång från mekanistiska till organiska strukturer inte skedde. Snarare såg man tendenser till förstärkning av de mekanistiska dragen.

Förklaringen fann Burns & Stalker i vissa drag hos relationen individ-organisation. Medlemmar i en organisation strävar inte enbart efter att uppfylla organisationens mål utan har också egna personliga strävanden som kan stå i motsats till de övergripande organisatoriska målen. Man kan därför finna ett flertal sociala delsystem inom vilka organisationens medlemmar arbetar. Individer använder organisationen också för att förverkliga sina egna personliga mål. Dessa sociala system befanns ge organisationen en i huvudsak mekanistisk prägel.

Författarna fann att de politiska och statusgivande systemen var de viktigaste. Mot kanske förväntat förstärks strävan mot tydlighet i ansvarsgränser och rättigheter vid starka förändringskrafter. Dessa hotar hela befodrings- och statussystemet. Maktkamper skapar konflikter och försvårar kommunikationer. Hela situationen präglas av osäkerhet och det finns starka krafter som vill ha "ordning och reda" och som börjar tillämpa formella regler mera strikt. Vid förändringar tycks individen därför mera sträva efter att uppfylla sina personliga status- och politiska mål än att se till organisationens bästa. Speciellt utpräglat fann Burns & Stalker dessa fenomen vara i förhållandet mellan forsknings- och utvecklingsenheter (FoU) och den övriga organisationen. FoU-enheter får ofta en särprägel genom sin funktion av att leda organisationen mot förändringar. De professionella befattningshavarna får en egen statusprägel och det skapas ofta konflikter gentemot övriga enheter inom företaget om vem som egentligen leder verksamheten. Detta förstärks av att det inom utvecklingsgrupper pratas ett annat språk än i resten av företaget. Därmed uppstår svårigheter i kommunikationen. Resultatet blir ofta att utvecklingsenheter isoleras från övriga enheter och därmed föga bidrar till företagets verksamhet. Det mest väsentliga inslaget är att enheten som syftar till att förändra organisationen av andra grupper upplevs som ett hot mot existerande strukturer. Detta skapar motkrafter och genom olika sociala faktorer försöker man sätta utvecklingsenheten ur spel.

Man får här uppmärksamma att studien gjordes i Storbritannien, där klyftan mellan industrifolk och "vetenskapsmän" kanske blivit extra djup. Författarna ger själva en förnämlig historisk bild av hur engelsk industri mot slutet av 1800-talet inom vissa sektorer, främst kemisk industri, kom på efterkälken just genom att det aldrig uppstod någon egentlig koppling mellan vetenskaplig forskning och teknisk utveckling inom industrin. Det engelska undervisningssystemet har också förstärkt dessa tendenser.

En ytterligare faktor som enligt Burns & Stalker styr den struktur som organisationen utvecklar är företagsledningen och kanske främst den högste ledaren. Denne har två för organisationen avgörande uppgifter i att omvandla den yttre miljöns krav på organisationen till konsekvenser och möjligheter för denna att handla och att utveckla och bibehålla den sociala miljön i organisationen och försöka balansera mellan individuella och organisatoriska mål. När den omgivande miljön präglas av snabba förändringar ställs krav på frekventa kontakter mellan människor inom olika organisatoriska enheter. Ledaren har också avgörande betydelse för att bestämma efter vilka linjer informella system utvecklas. Genom att betona organisationens mål och motverka hierarkiska kommunikationsvägar kan man skjuta individuella mål i bakgrunden och ge organisationen en mera organisk karaktär. Samtidigt ställer en sådan organisationsform högre krav på individerna, som inte kan luta sig mot enkla hierarkiska besluts- och befodringsvägar. Här har Burns & Stalkers teori starka paralleller

till Selznicks tidigare framtagna teori om den institutionella ledaren, som just har rollen av att utveckla och bibehålla ett slags kultur i organisationen. (Selznick 1957). (4)

Sammanfattningsvis kan sägas att Burns & Stalker utvecklade en sammanhängande teori för vad som bestämmer en organisatorisk struktur. Tre variabler fann de centrala: miljöns grad av föränderlighet, det politiska systemet och statussystemet i organisationen samt företagsledningens roll.

Studium av innovationsspridning

I de hittills presenterade arbetena koncentreras intresset i huvudsak till den organisation där en innovation växer fram. Däremot diskuteras inte innovationens vidare spridning. Ett avgörande steg togs med boken "Diffusion of Innovations" (Rogers 1962). Författaren tar utgångspunkt i ett stort antal undersökningar om innovationsspridning och utvecklar med hjälp av dessa ett språk, eller snarare en klassificering av olika delar av spridningsförloppet. Rogers följer innovationen i dess väg utanför den innoverande organisationen och ser vilka faktorer som bestämmer spridningssätt och spridningshastighet. Med innovation menas i detta sammanhang en idé som på något sätt är ny för en individ. Det spelar ingen roll om innovationen "objektivt" är ny i förhållande till någon övergripande nivå. Begreppet diffusion täcker in hela förloppet från idé till dess acceptans, men Rogers lägger huvudvikt vid vad han kallar adoptionsfasen d v s den process som startar när någon förbrukare blir medveten om en innovations existens.

Det viktigaste bidraget i Rogers arbete är hans klassificering av olika delar av ett spridningsförlopp, vilket ger oss ett språk att relatera liknande förlopp till och som dessutom kan ha normativt värde.

I övervägande delen studier fann författaren att adoptionsfasen kunde delas upp i fem steg: medvetenhet (awareness), intresse (interest), värdering (evaluation), prövning (trial) och antagande (adoption). Han fann också att beteendet inom de olika stegen skiljde sig åt. I medvetenhetsfasen var icke personliga informationskällor de mest utnyttjade, medan personliga källor var mest betydande i värderingsfasen. Han utvecklade också fem olika adoptionskategorier, vilka främst skiljde sig åt i förhållande till den tid det tog för dem att acceptera innovationen. Kategorierna var innovatörer (innovators), tidiga (early) adoptors, tidig majoritet (early majority), sen majoritet (late majority) och eftersläntrare (laggards). Han fann av naturliga skäl vissa karakteristiska skillnader mellan kategorierna. Den första gruppen hade, som han uttrycker det, kosmopolitiska värderingar, medan eftersläntrare snarare blev frustrerade i en alltför snabbt föränderlig värld. Individer med tidig acceptans var ofta yngre och hade högre social status än de som tillhörde en kategori som reagerade senare. Han fann också en korrelation mellan de som låg sent i adoptionskedjan och beroende av personliga informationskällor. En orientering mot traditionella normsystem medför långsammare acceptans medan en modern orientering gör det lättare att acceptera nya idéer.

Ett par ytterligare roller i spridningsförloppet är opinionsbildaren och förändringsagenten. Den förra är en viktig person för att skapa förutsättningar för att få en grupp att acceptera en innovation. Opinionsbildaren måste noga förstå och följa gruppnormerna och skiljer sig från innovatören, som snarare bryter mot

dessas normer. Rogers fann ett par typer av opinionsbildare, olika för olika delar av processen. En annan roll innehågs av förändringsagenten (change agent) som närmast har funktionen att länka samman det adopterande systemet med ett professionellt system. I dessa försök gäller det att främst vända sig till opinionsledaren.

Rogers hittade också faktorer hos själva innovationen som hjälpte oss att förstå skillnaden i olika innovationsförlopp. Han fann fem viktiga dimensioner:

- o **Relative advantage**, d v s fördelar en innovation har i förhållande till existerande lösningar och konkurrerande alternativ. Dessa kan aktualiseras vid en kris och därmed påskynda ett spridningsförlopp.
- o **Compatibility**, d v s om en innovation är förenlig med existerande värderingar och tidigare erfarenheter hos förbrukarna i det adopterande systemet.
- o **Complexity**, d v s möjligheterna för individerna i ett socialt system att förstå innovationens innebörd och användning.
- o **Diversibility**, d v s om det är möjligt att pröva en innovation i begränsad utsträckning eller om den tvunget måste accepteras som "helhet" genast.
- o **Communicability**, d v s om det är möjligt att informera andra om innovationens resultat och bidrag.

Alla dessa egenskaper tar utgångspunkt i marknadens/förbrukarens perspektiv.

Rogers gav oss en vidgad syn på innovationer genom att titta på deras spridning. Han poängterade därmed vikten av att även förstå mekanismer i de mottagande systemen för en innovations framgång. Däremot höll han sig i huvudsak på ett individplan och gav egentligen inget bidrag till förståelsen av logiken i de mottagande systemen sedda på en organisatorisk nivå.

Några ytterligare hypotesframtagande studier

Vid mitten av 1960-talet hade vi fått ett par olika bidrag till en innovations-teori. I huvudsak inriktade man sig på den inre organisatoriska miljön och såg innovationer som ett slags besluts- och handlingsproblem, låt vara av oprogrammerbart slag. Man hade i huvudsak koncentrerat sig på förutsättningar för att en organisation skall bli förändringsvänlig. Däremot fanns inga egentliga studier av konkreta utvecklingsförlopp och försök att utifrån dessa skapa en teori. I huvudsak arbetade man med hypotesprövande metoder, där det gällde att få fram ett tillräckligt antal variabler som kunde förklara organisationers benägenhet att innoвера. Forskningen hade en strukturkaraktär, medan själva innovationsprocessen som sådan lämnades i bakgrunden.

Det kom under 1960-talet ytterligare ett par studier som höll sig inom denna ram. Ett bidrag kom från James Wilson, som intresserade sig för varför vissa organisationer reagerade på miljöförändringar och andra inte (Wilson 1966). Han inriktade sig i huvudsak på belöningsystem och arbetsfördelning, två faktorer som han fann avgörande för på vilket sätt organisationer uppfattar miljöförändringar. Huvudtanken var att organisationens diversifieringsgrad bestämde innovationsaktiviteten. Diversifieringsgraden sammanföll i sin tur med belöningsystemet och arbetsfördelningens komplexitet. Wilson kom fram med tre

grundläggande hypoteser, som alla byggde på diversifieringsgraden i organisationen. Ju större grad av diversifiering i en organisation desto större sannolikhet för att organisationens medlemmar kommer fram med innovationer. Tanken bakom denna hypotes var att i en komplex organisation kan organisationens medlemmar själva definiera sin roll. Det finns flera typer av belöningar som gör innovativ verksamhet möjlig.

På samma sätt är sannolikheten större i en komplex organisation att betydande innovationer tas fram. Det finns flera grupper i en stor organisation vilket gör att medlemmarna inte behöver känna sig hotade. Samtidigt gäller, vilket var den tredje hypotesen, att ju större diversifieringsgrad desto mindre andel av föreslagna innovationer kommer att bli accepterade. I en komplex organisation finns större möjligheter att någon eller några grupper påverkas negativt, vilket alltså skulle lägga hinder för innovationer.

Wilson förde också fram att organisationer med en hög andel "professionell" personal hade högre innovationstakt än andra. Likaså att en forsknings- och utvecklingsavdelning med stora resurser har stora möjligheter att vinna gehör för sina förslag och därmed öka företagets innovationstakt.

Inom organisationsteorin har man sedan länge studerat byråkratiska organisationsformer och vad som utmärker dessa. Max Weber är kanske det mest kända namnet inom denna tradition (se t ex Weber 1964). Crozier (1964) är ett annat namn. Viktor Thomson gjorde ett försök att koppla ihop byråkrati och innovation (Thomson 1965). Tanken var att finna vägar genom vilka stora byråkratiska organisationer kunde förändras och bli mera innovationsvänliga.

Byråkratibegreppet beskrev Thomson i gängse termer; en organisation som karakteriseras av strikta hierarkiska besluts- och befordringsvägar. Viktiga inslag är auktoritet och ansvar. Varje persons arbetsuppgifter, rättigheter och skyldigheter är noggrant definierade. Olika former av konflikter är oftast bannlysta. Det finns inga egentliga resurser för förändring och nya lösningar upplevs som hot. Inom dessa organisationer avdelar man ofta nyutveckling till en särskild forsknings- och utvecklingsenhet som mycket snabbt isoleras från den övriga organisationen. Alla dessa faktorer bidrar till ett förändringsfientligt klimat. Thomson plockar sedan fram ett antal faktorer som organisationen måste uppfylla för att bli innovativ. Det måste finnas resurser som inte är uppbundna i den gängse verksamheten. Det behövs personer med specialistkunskaper och ett fritt flöde av information måste tillåtas. Sökande efter nya lösningar måste uppmuntras och belöningssystem anpassas till detta krav. En mera lös organisationsform krävs för att få igång innovativ verksamhet. Thomsons "kravlista" har många paralleller med Burns & Stalkers diskussion om organisationer i mekanistiska respektive organiska termer.

En syntes om produktinnovationer

De hittills presenterade studierna uppehåller sig vid organisatoriska förutsättningar för innovationer, ett begrepp som också har fått en mycket bred definition. Däremot ges inga egentliga bidrag till innovationsprocessernas natur. En författare som upplevde detta otillfredsställande var Richard Normann, som 1969 publicerade ett omfattande arbete om innovationer som byggde på studium av produktutvecklingsförlopp i 13 svenska företag inom varierande branscher som livsmedel, förpackningar, läkemedel och elektronik (Normann 1969). För-

fattaren arbetade med i huvudsak två syften för ögonen: att ge en så fullständig beskrivning som möjligt av förloppen och att sedan koppla dessa till det organisatoriska sammanhang vari utvecklingen skedde.

En central utgångspunkt är att en produkt belyser relationen mellan en organisation och dess omgivning. Därmed medför förändringar i produktprogrammet också förändringar i denna relation och sättet för organisationen att hantera den på. För att kunna beskriva utvecklingsprocesser måste man därför skilja mellan omgivning, produkt och organisation.

Organisationer har olika mål, värderingar och maktstruktur. Framgång ger makt vilket samtidigt gör att man försöker behålla de mål och värderingar som stärker ens maktposition. En ny produkt måste förstås i relation till rådande maktsystem. Normann bidrar med en språkutveckling, som gör det lättare att förstå relationen ny produkt - maktsystem i organisationer. Han skiljer mellan produkter som kräver förändringar i rådande maktsystem och värderingar och sådana som ligger inom givna ramar. De förra kallar han omorienteringar och de senare variationer. Förändringskraven är satta i förhållande till den innoverande organisationen och avser inte något slags objektiva nyhetsbegrepp. Variationer är i huvudsak smärre förändringar av existerande produktprogram medan omorientering avser fundamentala förändringar. Därför krävs också särskilda legitimationsprocesser för att lyckas med en omorientering. Normann skiljer mellan en organisations domän, både ur teknisk och marknadsmässig synvinkel, och en miljö som ligger utanför denna domän. En organisation upptäcker och tar in information från domänområdet, som man står i ständig interaktion med. Däremot finns det inga regler för hur man skall möta information och förändringar i miljön utanför. Oftast passar detta inte in i det kognitiva systemet i organisationen. En omorientering kräver oftast förändring av domänen.

Normann tar hjälp av psykologi och jämför information från domänen med direkt perception, d v s då det finns välutvecklade kommunikationsvägar, vilket gör det lätt att förstå informationen. När den istället har upprinnelse i utanförliggande miljö ställs krav på en förmedlare, vilket gör att organisationen inte får någon klar bild av informationens innehåll.

Vid diskussion av relationen innovation - organisation fann Normann det fruktbart att se innovationsprocessen i två faser, initiering och realisation. De är mycket olika till sin karaktär. Under den första fasen krävs mekanismer för förmedling och motivationsskapande och över huvud taget för att legitimera intresset för händelser i den yttre miljön. Politiska och kognitiva processer sätts igång. Under realisationsfasen är det istället att organisera projektet och koordinering som blir viktiga inslag.

Några egentliga problem med att legitimera en innovation som hör till kategorin variation finns inte, då den enbart stödjer de rådande makt- och kognitiva systemen. Däremot är vid initiering av omorienterande förändringar komplexa processer igång eftersom de inte passar in i existerande system. Författaren tyckte sig kunna skilja på tre slags omorienteringar:

- o **systematisk omorientering**, som ingår i en kedja av förändringar inom organisationen. De är på sätt legitimerade i organisationen. Exempel är satsning på nya marknader med gamla produkter eller att finna områden för nya teknologier.

- o **ideosynkratisk omorientering**, som kommer igång genom att vara legitimerad av maktcentrat, ofta av högste ledaren själv. Denna slags förändring är svår att integrera i värdesystemet, som tycks "bli kvar" i ett äldre tillstånd, då maktssystemet förändras.
- o **marginella omorienteringar**, som avser små projekt utanför organisationens domän. Genom att de är marginella påverkar de endast i liten omfattning organisationens struktur, vilket underlättar deras legitimering. De kan samtidigt successivt utvecklas och få en bredare omfattning och då ställa krav på strukturförändringar.

Mellan dessa tre grupper fann Normann karakteristiska skillnader. Organisationer under systematisk omorientering har mekanismer för hur val mellan olika impulser skall ske. Här finns en stark känsla för organisationens identitet, vilket saknas i en ideosynkratisk omorientering. Detta leder till att inadekvat information kan få oproportionerligt stor betydelse, bl a genom att en förmedlare kan få stort inflytande och överföra sin uppfattning om organisationens uppgifter. Koncentrationen av makt till ett starkt centra, som också aktivt deltar i förändringsprocessen, underlättar initierandet, vilket var starkt utpräglat inom de familjeföretag som ingick i studien.

Under realisationsfasen är den viktiga uppgiften för organisationen att avbilda viktiga delar av miljön och de krav som den ställer på produkten. Normann ser relationen organisation-produkt-omgivande miljö som ett system som kräver överensstämmelse mellan olika delelement för att bli framgångsrikt.

Även under realisationsfasen är skillnaden mellan variation och omorienterande innovationer av stor betydelse. Genom större osäkerhet och förändringskrav påkallar omorientering mer entreprenörskap, engagemang från ledningen och större resurser. En organisation som sysslar med bägge sorters förändringar måste därför noggrant skilja mellan dem.

Ett framträdande drag i produktutvecklingsprocesserna var den avgörande betydelsen som enskilda individer spelade för att initiera och befästa en innovation i organisationen. Utvecklingsprojekt är viktiga mekanismer för individer att skapa och bibehålla makt och status. För att underlätta denna strävan kan organisationen utforma belöningsystem som ligger i linje med förändringar, till exempel att inte utse "syndabockar" vid misslyckade innovationsförsök.

Ofta samverkar framgång för en innovationsidé med att organisationen är inne i ett slags förändringsprocess, där strukturen är under upplösning eller i varje fall inte lika stark som vanligt. Detta gör det möjligt att aktivera sig kring "udda saker" som inte upptäcks lika lätt som i en rigid organisation.

Grundbudskapet om variation och omorientering kopplade Normann till tidigare innovationsteorier, främst March & Simon och Burns & Stalker. Till skillnad från Burns & Stalker hade Normann funnit att även mekanistiska organisationer kunde skapa utveckling under förutsättning att innovationen bedrivs sekvensiellt. Detta innebär att vissa delar i processen inte kan designas förrän vissa andra delar har blivit färdiga. Burns & Stalkers teori stod också till viss del i motsättning till March & Simons. Detta fick sin förklaring genom att Normann tolkade situationen så att March & Simons teoriapparat i första hand handlar om utveckling av variationer, medan Burns & Stalker avser omorienteringar.

En ytterligare belysning av Burns & Stalkers klassificering i mekanistiska och organiska strukturer gjordes av Rhenman (1974). Satsen att en organisk organisation var överlägsen en mekanistisk i starkt föränderliga miljöer stämde inte med hans erfarenheter. Han hade funnit mycket framgångsrika starkt mekanistiska företag även i miljöer under stark förändring. Förklaringen fann han i att Burns & Stalkers klassificering främst avsåg marginella organisationer, som är tvungna till att avbilda den omgivande miljön i den egna organisationen. Däremot är det nödvändigt för ett storföretag att ha en mekanistisk organisation för att kunna utveckla nya system och dominera sin miljö.

En sammanfattning

Vid slutet av 1960-talet börjar vi få tendenser till en sammanhängande teori för hur innovationer växer fram och vilka faktorer på en organisatorisk nivå som kan förklara olika förlopp. Det känns naturligt att se på de krav en idé till förändring ställer på organisationen. Ju högre grad av förändring desto svårare för idén att få gehör. Organisationer såväl som människor präglas av konservatism och vill behålla och stärka faktorer som ger status och makt. Det finns innovationer som ligger i linje med dessa strävanden, som därmed också tas emot med öppen famn. Samtidigt ser vi dagligen hur organisationer och hela samhällen förändras, inte bara marginellt utan också revolutionärt.

Genom March & Simon via Burns & Stalker till Normann ges ett språk som gör det lättare att förstå vilka organisatoriska strukturer som medverkar i och underlättar förändringar. Viktiga inslag är olika slags spänningar mellan organisationen och den omgivande miljön, som tvingar organisationen att på något sätt anpassa sig till miljön.

Däremot är bilden fortfarande otydlig när det gäller att förstå hur förändringskrafter uppkommer och sprids. Med undantag för Rogers uppehåller sig samtliga författare vid inre organisatoriska processer och de säger föga om det omgivande systemet eller om bransch eller samhälle. En författare som kom att fördjupa vår kunskap i bl a dessa dimensioner var Donald Schön.

Från begränsad rationalitet till genuin osäkerhet

Mot slutet av 1960-talet och början av 1970-talet kom två böcker som på ett markant sätt bidrog till förståelse av teknisk förändring och organisatorisk förnyelse (Schön 1967, 71). Båda var skrivna av amerikanen Donald Schön, som i dessa "sammanfattade" sina erfarenheter från arbete dels som organisationsforskare, dels från arbete inom den amerikanska federala förvaltningen. (5)

Schön tar utgångspunkt i den konflikt som historiskt funnits mellan stabilitet och förändring. Förändringar ses hela tiden som händelser mot bakgrund av stabilitet. Detta har skapat värderingar och institutioner som skall bestå. Samtidigt har vi sett en ständigt pågående förändring som under senare tid tycks bli allt snabbare. Vi uppfattar ändå förändringar som avvikelser från något etablerat. Tron på stabilitet är mycket djupt förankrad i samhället och hos individen. En förklaringsfaktor till denna syn är att vi ser på förändringar i efterhand och blir därmed inte medvetna om deras ständiga pågående. Vi har alltså fått en syn med förändringar som går från en stabil situation till en annan. Ett synsätt som varit naturligt då förändringar skett med långa tidsförlopp.

Vi har länge levt med en rationell syn på uppfinningar, där forskning setts som en enhet lik andra i företaget. Det har varit klart vilka metodiska steg mot ett mål som skall tas och inom vilka tekniker man skall söka. Schön vill istället se uppfinningar som ett ständigt förlopp av underuppfinningar både "bakåt och framåt". Uppfinningar arbetar sig framåt baklänges, dvs man upptäcker ett fenomen som man sedan undrar vad det kan användas till. Behov och teknik bestämmer ömsesidigt varandra.

På samma sätt har man haft en rationell syn på innovationer där det varit möjligt att göra riskbedömningar. Man har sett innovationen som en styrbar process. Istället menar Schön att osäkerhet är inbyggd i teknisk innovation. Det gäller att försöka förvandla osäkerhet till risker, vilka man inom företag utvecklat mekanismer för att ta hand om. Innovationer är förmedlare av idéer och söker sin egen användning. Det är ofta redan nedlagda kostnader som driver utvecklingsprocessen vidare. Det gäller att våga ta språng ett flertal gånger under en innovationsprocess.

Det finns inom organisationer en ambivalent inställning till teknisk förnyelse. Vi har fått en tilltro till forskning och tillväxt i företagen under de senaste 50 åren, där tillväxt är tecken på framgång.

Samtidigt finns ett etablerat motstånd i organisationer mot innovationer. Ett företag har investerat i olika organisatoriska enheter, i kapital och produkter. En viktig önskan är egenskapen att kunna upprepa verksamheten, vilket också är den viktigaste drivkraften till arbetsorganisationen.

Organisationer präglas av dynamisk konservatism, med vilket Schön menar en aktiv strävan efter överlevnad, kontinuitet och stabilitet i verksamheten. Teknisk förnyelse angriper istället företaget på alla nivåer. Uppfinnandet passar inte in i en ordnad, rak och förutsägbart verksamhet. Det finns strävanden från organisationens underavdelningar att behålla sin verksamhet intakt. Innovationer innebär förändringar och hot mot etablerad verksamhet. Radikala uppfinningar påverkar organisationen på många sätt och på många plan. Företagsledningarna kan angripas i sina hierarkier, maktsystem och kunskaper. Organisationens politiska struktur är bunden till den etablerade teknologin och det är en mänsklig instinkt att skydda sig. Innovationsprocesser medför osäkerhet som fortplantas i organisationen och urholkar den grund varifrån företaget regeras. Organisationen kan svara med allt från att tillbakavisa innovationen till att låtsas som om man stödde den, t ex genom att ge utvecklingsarbetet en egen avdelning.

Det finns en aktiv konservatism inom organisationer, samtidigt som det krävs förändringar för att kunna överleva. Här finns en motsättning som är en utmaning mot den dynamiska konservatismen.

Med en rationell syn på innovationsförlopp blir det naturligt att se marknaden eller behovet som drivkraften för innovationer. Schön kullkastar denna syn och menar att behov inte föregår idéer till uppfinningar. Endast inom ramen för mycket små förändringar kan behovet vara den ledande mekanismen. Han pekar också på den stora skillnad som successivt vuxit fram mellan marknadssidan och den tekniska sidan i organisationer. Förr var marknads- och tekniska funktioner samlade hos en person som kunde bära osäkerheten själv. Med ökad specialisering har det skapats problem där varje avdelning vill arbeta med det kända och överflytta osäkerheten till andra.

Vi fick också mot 1950-60-talen en begynnande skepsis gentemot innovationer. Det fanns företag som mycket framgångsrikt kunde köpa sig till nyheter. För många blev utveckling en fråga om smärre förändringar av egna produkter, såsom inom bilindustrin.

Istället för att se på innovationer som en rationell process är det snarare fråga om osäkerhetssituationer, där det för framgång oftast behövs en "produkt-mästare". Det som präglar en sådan är att han kraftfullt stödjer en ny idé och oftast söker inofficiella vägar för att driva igenom den. Han måste förbise formella regler för att lyckas. Det finns exempel där man försökt göra produktmästaren till en officiell person genom att skapa särskilda organisatoriska enheter för nya produkter. Samtidigt går det inte alltid att starta från början, utan gammal verksamhet måste ibland förändras. Med en rationell syn på innovationer har man sett behov av att ta in krafter utifrån, att sätta en ny man i toppen, vilket var 1950-60-talens idé. Ett annat sätt har varit omorganisationer och nya sätt att producera idéer. Dessa lösningar har ofta endast inneburit en serie av onda cirklar som hindrat förnyelse.

Schön ser ett antal villkor för förändringar. En viktig förutsättning är att få inflytande i organisationens topp, att skapa insikt hos ledningen. Förändringar innebär ofta större hot mot högsta ledningen. Ett andra villkor är varseblivning av ett slags kris. Enbart mycket starka motiv kan driva en organisation till förändring - ett slags kristillstånd, som oftast uppnås genom händelser i omvärlden. Ytterligare ett villkor är något slags inre organisatorisk konflikt som svar på hot utifrån. Det krävs dessutom tillräckligt med tid för att kunna "lyfta" en kris mot handling. Det krävs dessutom en klar och livlig vision om vad som kan bli resultatet. Det gäller att skapa en situation där en vision kan utvecklas. Det behövs ett slags modell.

Trots alla hinder förekommer innovationer. Det är en myt att forskning och utvecklingsverksamhet i etablerade industrier är källan till ny teknologi. Samtidigt är begreppet industri föga väldefinierat. Det förekommer ständiga förskjutningar i gränser och innehåll. Det finns en slags utvecklingsordning där de mest betydande uppfinningarna ligger tidigt i kedjan. Gamla och etablerade industrier, såsom textil och verkstadsindustrin, utvecklar i mycket liten grad sina egna innovationer. De kommer istället utifrån genom invasioner från andra industrier, såsom kemisk industri för textilindustrin och flyg- och rymdindustrin för verkstadsindustrin. För gamla industribranscher finns ofta en överkapacitet som leder till låga vinster och oförmåga att investera i forskning och utveckling. De blir också dominerade av kunder, de blir "workshops" för kundbehov vilket leder till korta produktserier, höga kostnader och därmed låga vinster.

Det finns ett innovationsproblem i mogna industrier. Motstånd finns inbyggt i systemet. Viktiga steg i den industriella processen är uppdelningen på oberoende organisationer, som ofta blir för små för innovativa strävanden. Koncentration sker på närvarande engagemang. Det finns starka sociala system i organisationen som går i förbund med befintlig teknologi. Bristen på entreprenörer och modeller för entreprenörskap bidrar till bristande innovationer.

Innovationer kan därmed ofta komma genom invadörer utifrån. Detta kan vara individer, små firmor, andra länder eller invaderande industrier. Det finns en viktig roll för oberoende uppfinnare som invadörer.

Ett försök att undvika bristande innovationsförmåga är att i ett tidigt skede av företagets historia skapa ekonomiska resurser för en entreprenöriell orientering. Detta bör ske innan hinder lyckats uppträda.

Med sin syn på innovationsprocesser ser Schön regeringars uppgift närmast som att skapa ett politiskt klimat för förändring. Det behövs ett slags förändringsetik eller metaetik, som kan lösa upp de faktorer som gör att vi isolerar förändringsmekanismer i särskilda enheter för att kunna bevara vår tro på stabilitet. Hittills har de flesta regeringar endast understött den som skadas av förändringar, en nationell politik som snarare hindrat än hjälpt snabba omställningar. Vi har fått en stabilitetspolitik som ökat kostnaderna för innovationer.

Från osäkerhet till en första teori för organisatorisk inläring

Schöns första bok "Technology and change" slutar med behovet av att skapa ett slags metaetik för förändring. I den andra boken "Beyond the Stable State" utvecklar han också en etik för förändringsprocesser.

Han tar än en gång utgångspunkt i begreppet stabilitet och människans tro på ett stabilt tillstånd, där försvar mot hotet om osäkerhet är ett viktigt inslag. Vi ser nu ständigt perioder av kriser, spänningar och förändringar, som även gäller för organisationer som ständigt passerar genom zoner av instabilitet. Förändring kräver passage av perioder av osäkerhet, som präglas av att man har mer information än man kan hantera och dessutom ingen acceptabel teoretisk grund som utgångspunkt för handling. Osäkerheten skapar djupare ängslan vid hot mot centrala regioner. Det blir då naturligt att göra motstånd, att neutralisera eller undertrycka förändringssträvanden.

Vi har under senare år sett hur stabila organisationer löses upp och ständigt förändras. Det ställs nya krav på gamla institutioner som hotas i sin gamla ideologi. Ett väsentligt inslag i dessa förändringskrav är tekniker som ställer sina egna villkor och styrs av sina egna värderingar. Vi ser serier av förändringar i allt mer ökande takt. Förändringarna påverkar också alla industrier i så gott som alla länder. Vi har fått teknologiska vågor, såsom ny industriell teknik och system för transporter, som sprids i zoner kontinuerligt. Det är frågan om utveckling av metateknologier som möjliggör mångfaldigande och underlättar tekniska innovationers spridning. Ett annat uttryck för dessa teknologier är infrastrukturella teknologier. Dessa har ett slags inåtriktad verkan som styr flödet av information, varor, folk, pengar osv. De utgör någon form av kommunikationsteknologier.

Omställning sker nu inom samma generation ett flertal gånger. Det är då svårare att upprätthålla illusionen av stabilitet, vilket man kunde göra förr, då växling ofta skedde vid generationsskifte. Det finns tre slags reaktioner, man kan återgå till stabilitet, totalt förkasta det förgångna eller ta ett slags andlig flykt genom att undvika att medvetet reflektera.

Nu är alla institutioner inne i en kontinuerlig process av förändring och ett resultat av detta måste bli ett slags lärande system som åstadkommer sina egna förändringar.

Samtidigt finns den dynamiska konservatismen som gör att sociala system skyddas mot en teknik som är förödande för sig. Organisationer har tre inslag

som alla förstärker och påverkar varandra i bevarande riktning. Det finns en struktur med individers roller och relationer, det finns en teknik och det finns en teori, dvs åsikter om organisationens sätt att verka, dess framtid och miljö. Sociala system avspeglar ett teknologiskt tillstånd som har makt över sina medlemmar och som ger individens liv mening. Det behövs därför trösklar eller energinivåer för att dessa system skall förändras.

Större förändringar kommer ofta som en reaktion på misslyckanden eller hot därom. Förändringar kan också, som vi sett, ske genom invasion eller uppror som för med sig främmande element. För att undvika kriser och splittring ställs krav på lärande system.

Vi har successivt inom affärsföretag fått en övergång från statisk produktlinje gentemot produktinnovation respektive från enkel produktlinje till flera produkter. Det har blivit viktigt med regelbundna uppfinningar inom företagen. Viktiga drivkrafter till denna syn har varit forskning och utvecklingsverksamhet under kriget, marknadsmättnad, vilket skapat behov av nya produkter, och nya affärsmöjligheter. Vi har också fått en högre nivå för definition av produkter. Dessutom har vissa vetenskapligt baserade industrier fungerat som demonstrationsexempel för att utnyttja forskning. Teknisk innovativ verksamhet har blivit en funktion inom affärslivet. Man har försökt utforma företag som ett system för utbildning och skapat constellationer av halvt självständiga dotterföretag eller underavdelningar.

Hela denna utveckling har gått mot företagssystem, där man definierar sina uppgifter i form av funktioner, tex att "hålla befolkningen ren". Denna förändring har på ett markant sätt givit nya strategier för växt. Det är inte frågan om horisontell eller vertikal integration utan snarare att bygga upp system som kan fylla en social funktion med en kombination av service- och produktföretag. Här är det viktigt att utnyttja innovationer för att utveckla systemet. Denna utveckling har också börjat riva ner gränser mellan enskild och allmän företagsamhet.

Innovationers spridning

Sociala förändringar kommer till stånd genom att uppfinningar tas i bruk och sprids. En etablerad syn på spridning av innovationer är den s.k centrum-periferi-teorin, som innebär att spridning sker från ett centrum antingen direkt eller från utspridda andrahandscentra stödda av ett centrum. En central uppgift är att leda och kontrollera dottercentra. För att göra en sådan ledning globalt möjlig fordras enkelhet och likformighet i det centrala budskapet. Det är också beroende av infrastrukturen för kommunikation. Små stödjande förändringar sprids genom en ny produkt eller teknik, medan spridning av stora förändringar omfattar hela teknologiska system. Det är då en samverkan mellan avsiktliga ingrepp och oförutsedda händelser. Mängder av innovationer ställer krav på infrastruktur. I ett stort industrisystem sker ett slags ömsesidig befruktning. Innovationerna måste "vinna omröstning" för att få spridning inom ett socio-tekniskt system. För innovationer som utmanar ett system i centrum blir spridningsprocessen närmast en kamp, där innovations- och spridningsprocesserna sker samtidigt.

Schön efterlyser en ny teori för spridning av innovationer, där man ser affärsföretaget som ett avancerat system för utbildning, där funktioner inom

ett system är det centrala. Olika centrum framträder och försvinner då beroende av tillfällen. Det kan finnas flera centra som samverkar. Det finns inget centralt eller fast budskap utan en doktrin som utvecklas och skiftar. Synen skulle alltså gå från spridning av något fast budskap från ett centrum till periferin mot att se det som ett system för utbildning. Möjligheterna att hålla samman ett system ges genom infrastrukturteknologi. Ett system för inlärninng kan då karakteriseras som ett kommunikationsnät som själva kan omvandla sig genom samverkande innovationer.

Det tar ofta lång tid för idéer att komma i omlopp. Inom system för utbildning kan man få en minskad eftersläpning och på så sätt få idéerna att mera återspegla aktuella problem.

Vi har sett hur sociala system försöker undertrycka och ignorera idéer som inte passar in. Samtidigt ökas möjligheterna för nya idéer om den accepterande teorin för innovationsprocesser inte stämmer. Ett system kan gradvis upphöra att avvisa en idé. Det finns vissa fria ytor inom det sociala systemet - lugna vatten - där idéer kan växa utan massivt motstånd och få verka i marginalen till en början. Först när idéerna närmar sig centrum hotas det sociala systemet och då kan idéerna ha vuxit sig starkare. Det behövs också ett slags "avantgarde"-roller som hjälper till i spridandet av idéer. Dessa kan ha olika karaktär och Schön laborerar med begreppen artist, utopist och profet. Dessa fungerar som mäklare för en idé och försöker popularisera den. För att få idén accepterad måste man nå fram till maktens centrum. Detta kan ibland underlättas genom att idéerna kan bli verktyg för personer att skapa sig makt. Organisationer som är kapabla till självförnyelse har ofta inslag av underjordiska skuggorganisationer som arbetar på ett informellt sätt.

En organisationsteori för att skapa kvalitativ tillväxt

1975 återkommer Richard Normann med sin doktorsavhandling som utgör en redogörelse för hans eller till viss del också hela SIARs syn på organisatorisk förändring vid tidpunkten för publicerandet (Normann, 1975).

Arbetet ger en språklig helhet för att analysera organisationer och deras förändring och bygger på en forskningstradition där stark betoning ligger på uttolkning av historiska händelser och subjektiva uppfattningar hos olika aktörer inom en organisation. I sitt angreppssätt har Normann likheter med Schön, då båda poängterar förändringsprocessers bristande rationalitet. Normann ger däremot en mycket djupare förståelse för inre organisatoriska förhållanden i samband med organisationers förändring och har också som syfte att ge ett språk till företagsledning. Fokus läggs på organisatorisk nivå och inte som i hans tidigare arbete på produktutveckling. Han talar mer om organisatorisk inlärninng än om forskning och utveckling.

En grundläggande utgångspunkt är att en differentierad struktur med betoning på lokala initiativ är framgångsformeln för framtiden. Det är viktigare att förstå skillnader mellan olika situationer och organisationer än att dra fram generella regelbundenheter.

Företag är öppna system som interagerar med sin omgivning i en utbytesprocess. I denna relation utvecklar organisationen en struktur som kan bli föremål för förändringar i en utvecklingsprocess.

För framgång i utbytesprocessen måste organisationen utveckla överlägsenhet för att hantera en viss del av sin utbytesmiljö, att skapa dominans över ett marknadssegment. Ett slags överlägset kunnande - en affärsidé - måste i den egna strukturen avbilda den nisch i miljön som företaget inriktar sig på. Detta resonemang bygger på principen om överensstämmelse. Att organisationer kommer i svårigheter beror oftast på att det uppstått bristande överensstämmelse mellan organisationens struktur och dess utbytesmiljö. Affärsidé omfattar mer än enbart marknad och avser hur det skall gå till att nå dit man vill komma. Det är en institutionaliseringsprocess i teknisk och social bemärkelse. Varje affärsidé är unik.

Därefter går Normann in på förutsättningar för att skapa en effektiv utvecklingsprocess, där nya affärsidéer utvecklas. Dessa kallar han växtidéer. Här tar han hjälp av sin tidigare kategorisering mellan produktvariationer och omorienteringar, där de förra är förbättringar inom ramen för existerande affärsidé, medan de senare avser nya produkter utanför etablerade affärsidéer som kräver nya typer av resurser och färdigheter i organisationen. Dessa kategorier har skilda planeringsfilosofier, där variationerna har en viss rationalitet medan omorienteringar snarare kräver viljeyttringar och kreativt entreprenörskap. Omorienteringar kräver förändringar av resurser, maktsystem och inre politiska processer. Därmed finns också en naturlig motvilja mot förändringar av rådande värdesystem.

Företag växer just genom produktvariationer och omorienteringar i utvecklingscykler. Dessa delar Normann upp i fem steg:

1. Spjutspetsstadiet med en vision eller sökriktning.
2. En utvecklingsfas där konkreta produkter och system skall hjälpa till att erövra ett revir.
3. Marknadspenetration där resurser och organisation för att erövra reviret byggs upp.
4. Exploatering där det gäller att bita sig fast och skörda frukterna av sina satsningar.
5. Avveckling och omdefiniering.

Alternativt kan man se utvecklingsprocessen i två steg, dels som en inlärnin där nya aspekter av miljön avbildas, dels som en utbredningsfas där man erövrar och skyddar ett revir och försöker avbilda sin egen struktur på den yttre miljön.

Ett sätt för en organisation att förändra sig är genom successiva förändringar av en etablerad affärsidé, så kallade omdefinieringar. Affärsiden baseras på kritiska faktorer för systemet. Det är avgörande att det föreligger överensstämmelse mellan det enskilda företags bas för dominans och kritiska faktorer i det större systemet. Dominerande idéer är de centrala värderingar och intellektuella processer som karakteriserar organisationens mest betydande aktörer, de sk signifikanta aktörerna. En viktig drivkraft till att omdefiniera affärsiden är att kunskapsutveckling alltmer sker vid en slutmarknad och allt längre ifrån råvarukällan. Detta kan leda ett produktionsorienterat företag mot att öka sin marknadsorientering. Ett marknadsorienterat företag kan drivas mot en kundcentrerad systemutveckling, där man försöker bygga upp helheter kring kunden.

Normann diskuterar mekanismer för inläring och kunskapsutveckling som underlättar förändring inom en organisation. Det krävs en struktur som uppmuntrar framtagandet av nya affärsidéer. Det gäller då att välja en extern miljö att interagera med där inläringen kan öka. Man måste utvidga mängden av tillgänglig variationsrikedom och försöka öka antalet impulser som når företaget. I en inlärningsituation måste organisationen söka upp en så besvärlig och kravställande miljö som möjligt. Däremot i en mogen situation är det snarare frågan om att homogenisera och relatera sig till ett enhetligt segment. Variationsskapande strukturer karakteriseras av organisk karaktär med allmänna och diffusa krav på individerna, medan en utarmande organisation mera har byråkratisk karaktär. Organisationen måste ha förmåga att växla mellan perioder av lösare och hårdare styrning beroende på läget för organisationen i utvecklingscykeln. Likaså måste styr- och belöningsystem anpassas till organisationens aktuella situation. Företagets växtidéer är planeringsinstrument för utvecklingsprocessen. De har en dialektisk karaktär som måste växla mellan visioner om potentiella affärsidéer och mera konkreta och omedelbara processteg som relateras till företagets aktuella situation och kunnande. Normann ser fyra viktiga delprocesser i växtiden: 1. skapande av drivkrafter, 2. hanterande av hinder i maktsystemet, 3. kunskapsutveckling och 4. resursutveckling. Visionen karakteriseras av intuitiva föreställningar om framtida systemtillstånd, där det gäller att välja de aspekter som skall studeras. Utvecklingsprocessen karakteriseras av konfrontation mellan olika visioner och är ett rörligt instrument i inlärningsprocessen. Växtiden måste ha djup förankring i företagets verkliga situation.

För att få igång organisatoriska förändringar är det nödvändigt att skapa och utnyttja spänningar. Dessa ger dels motivation och dels en bild av tänkbara förändringsriktningar. Spänningar är dels naturligt genererade och dels sådana som produceras av individer och grupper i organisationen för att få igång ny växt. Spänningar från naturliga drivkrafter är utmärkta i ett tidigt skede men upphör sedan att verka om man inte lyckas fortplanta dessa spänningar till signifikanta aktörer. Det behövs andra drivkrafter som kan dra projektet igenom olika hinder och motstånd.

I kunskapsutvecklingsprocessen är det viktigt med centrering kring helheter. När det är frågan om omorienteringar är en intuitiv känsla för betydelsen av olika nya kombinationer av stor betydelse. Denna måste konkretiseras i ett nätverk av sociala kontakter och en organisatorisk struktur.

Det finns olika sätt att hantera hinder inom företaget och i den yttre miljön gentemot förändringar. Om en förändringsidé är stark kan man inta en konfrontationsstrategi. Annars kan man söka stöd och samarbete med motparten genom att ge med sig på vissa punkter. Man kan i ett tidigt skede använda sig av en kringgående taktik där man låter utvecklingen ske i det osynliga. Den mest framgångsrika strategin är att försöka göra hindret till en drivkraft. Inom ett effektivt företag är dominerande idéer anpassade till situationen och konkretiserade i den organisatoriska strukturen. De dominerande idéer som har mer inflytande än andra avspeglas i en liten grupp av aktörer med högsta reella maktpositionen, företagets kärngrupp. I denna finns en viss rollkonstellation där olika personer intar olika roller och i framgångsrika fall av komplementär karaktär. Kärngruppen måste vara en avspegling av företagets affärsidé. Inom kärngruppen hittar man oftast en eller flera affärsidébärare som står för hela affärsidén. Inom framgångsrika företag hittar man

ofta inom kärngruppen personer med olika karaktär. Det är någon variations-generator som står för idéer och förändringsvilja, dels en selektor som är en tillbakahållande personlighet som inför tröghet i systemet. Dessutom behövs oftast en processmoderator som kan fungera som medlande länk.

Den process varigenom dominerande idéer förändras kallar Normann tolknings- och idéregleringsprocessen. Det finns ett antal egenskaper i organisationen som reglerar och situationsanpassar företagets dominerande idéer som går under begreppet växtkultur. Ett framgångsrikt företag måste ha förmåga att växla mellan olika synsätt och strukturer. De viktigaste beståndsdelarna är makt- och idésystemen samt mekanismer för att hantera spänningar. Ett viktigt inslag är att få balans i spänningar vilket kräver ett slags dubbelkultur med både inlärning och exploateringsvärderingar representerade i kärngruppen.

Normanns synsätt vilar på en bred teoretisk grund, bl a Thompson (1967) och Lawrence & Lorsch (1967) har pekat på vikten av att med hjälp av organisationsstruktur hantera en komplex omvärldsmiljö. Ju mer komplex en organisations miljö är desto viktigare att skapa mekanismer genom vilka omvärldens påverkan på organisationen kan filtreras.

Man måste tolka aktuella händelser i skenet av tidigare händelser och förstå dominerande idéers historiska sammanhang och signifikanta aktörers personliga situation för att framgångsrikt kunna förändra dominerande idéer. Hinder finns för förändringar genom signifikanta aktörers kunskaper som påverkar de dominerande idéerna och avser bristande rent intellektuella förutsättningar. Det kan också förekomma hinder i ledarstil och normer för interpersonella relationer, där etablerandet av myter är ett inslag.

Till sist inför Normann begreppet statsmannaskap som avser ledarskap på en växtkulturnivå som har till uppgift att leda regleringen av idésystemet. Det gäller att kunna balansera den totala uppsättningen av verksamhetsgrenar. Inom ett företag som övergår från en affärsidé till flera affärsidéer krävs ofta att någon affärsidébärare övergår till statsmannaledarskap. Han får där en annan uppgift huvudsakligen med att få andra personer att utvecklas. Statsmannaledaren arbetar i huvudsak med politiska processer vilket är nödvändigt för att åstadkomma förändringar i företaget. En av statsmannens viktigaste uppgifter är just att underhålla det politiska systemet. Det krävs av honom en grundläggande förståelse av högre system på bransch- och samhällsnivåer. Han arbetar i huvudsak genom att påverka den organisatoriska strukturen, genom vilken han förändrar spelreglerna och spelplanen.

Organisatorisk inlärning

Mot slutet av 1970-talet talar man mer om organisatorisk inlärning än om produktutveckling och innovationer specifikt. Under den snabba omvärldsförändring som präglade 1970-talet blev man uppmärksam på att det inte räcker med särskilda organisatoriska enheter för nyutveckling, utan att snarare hela organisationer måste bli instrument för inlärning. Med en extern miljö som närmast präglas av turbulens räcker det inte med att organisationer förändras som svar på olika slags kristillstånd. Schön och Normann pratar också om betydelsen av att skapa organisatoriska förhållanden som gör en fortlöpande inlärning möjlig.

En starkt bidragande faktor till intresset för organisatorisk inläring är de allt större organisationerna, med en allt längre driven specialisering. Det finns ingen enskild person som kan omfatta helheten, vilket är möjligt i små organisationer där individuell och organisatorisk inläring till viss del kan ses som samma fenomen.

Bo Hedberg har gjort en genomgång av litteraturen kring organisatorisk inläring (Hedberg, 1979). Han har funnit att begreppet organisatorisk inläring har ursprung under 1950-talet och sedan använts på ett mycket brett sätt utan någon enhetlig definition. Mycket av litteraturen tycks handla om olika aspekter av individuell inläring inom organisatoriska ramar.

Ett dilemma är hur man skall se fenomenet organisationer som lär. Ett synsätt är att organisationer påverkar individernas handlande inom organisationer. Det är då rimligt att tala om organisationer som lär eftersom organisationens karaktär överlever individerna. Det finns redskap i organisationen som bär med sig karaktärsdragen, såsom standards och procedurer, sedvänjor och symboler, traditioner och normer, myter och sagor.

Schön återkom 1978 tillsammans med organisationspsykologen Chris Argyris med ett arbete om organisatorisk inläring (Argyris & Schön, 1978). Även dessa författare upplevde ett behov av en teori för organisatorisk inläring i en mycket snabb föränderlig värld.

I ett appendix går de igenom en del av litteraturen om organisatorisk inläring. Många författare har på ett eller annat sätt behandlat organisatorisk inläring utan att ge någon explicit definition av vad de menar. Argyris & Schön tar utgångspunkt i att organisatorisk inläring måste kopplas till en övergripande syn på organisationer. I sin analys av litteraturen grupperar de olika teoretiska ansatser i sex grupper just med utgångspunkt i sätt att se på organisationer. Dessa är:

1. organisationen som grupp
2. organisationen som agent
3. organisationen som struktur
4. organisationen som system
5. organisationen som en kultur
6. organisationen som ett politiskt system.

Synsättet med organisationen som en **grupp** har i huvudsak utvecklats av socialpsykologer och innebär att organisationen ses som en samling av människor under samverkan. Gruppen som sådan kan vara effektiv eller ineffektiv i sitt sätt att utföra sina uppgifter. Organisatorisk inläring kopplas till individer inom en grupp, men man talar om gruppens inläring när individerna lär i syfte att utföra gemensamma uppgifter.

En annan skola ser organisationer som **agenter**, som ett instrument för att kunna uppnå vissa sociala strävanden. Organisationen kan inte reduceras till sina medlemmar utan är ett eget subjekt. Organisatorisk inläring är erfarenhetsbaserad i individers sätt att utföra olika uppgifter, vars inläring inlemmas i organisationens minne och program.

Med en **strukturell** syn på organisationer blir man intresserad av flöden av information, beslut och inflytelsevägar. Människor i organisationen intresserar man sig i huvudsak endast för i form av deras relationer och samverkan. Max Weber, som utvecklade en teori för den byråkratiska organisationen, är en känd företrädare för denna syn. Organisatorisk inlärning är en fråga om förändring av strukturer och inlärning sker när organisationen förändrar sin struktur.

Med en **systemsyn** ser man närmast organisationer som självreglerande enheter. Det finns flera olika riktningar inom denna grupp, där cybernetiker ser organisationer som system för beslut och kontroll. Informationsteoretiker ser närmast organisationer som informationsflöden. Organisatorisk inlärning blir här en självreglerande process för att upptäcka avvikelser och för att rätta till dessa.

Ytterligare ett synsätt är att se organisationer som **små samhällen**, med en egen **kultur**. Här blir symboler, ritualer och olika kognitiva scheman föremål för studier. En känd företrädare för denna syn är Claude LeviStrauss. Organisatorisk inlärning kan här dels ses som den process med vilken individen blir socialiserad och dels som den process genom vilken organisationen omformas som svar på misstag eller inkonsistent handlande.

I en sjätte och sista grupp ses organisationer som **politiska system** som innehåller företrädare för olika intressen. För att förstå organisationen måste man då förstå konflikter och maktsträvanden inom denna. Organisatorisk inlärning kan vara för medlemmarna att på mest effektiva sätt lära sig att vinna ett politiskt spel som de är involverade i inom organisationen. Ett annat synsätt är hur medlemmarna får kollektiv medvetenhet om de tvister som de är involverade i och möjligheter att omvandla en kamp till samverkan.

Argyris & Schön gör sig själva till tolk för en syn där organisationen är agent. De tar i sitt arbete utgångspunkt i vad som skall menas med organisatorisk inlärning i situationer där organisationen tycks veta mindre än dess medlemmar, dvs när organisationen inte kan lära sig vad dess individer kan. Organisationen är något annat än en samling av individer, samtidigt som den inte kan lära på annat sätt än via erfarenheter och handlingar av individer. Redan 1974 hade författarna utvecklat en "**theory of action**" som ligger till grund för även detta senare arbete (Argyris & Schön, 1974). Denna teori avsåg närmast individuellt handlande.

Alla medvetna handlingar har en kognitiv bas som återspeglar normer, strategier och antaganden, modeller etc som ställer krav på allmängiltighet. Mänsklig inlärning förstås inte som ett beteende utan snarare som konstruktion, testande och omändring av vissa kunskaper. Det är en sådan teori för mellanmänniskt beteende som kopplas till en professionell miljö, organisationen, som författarna utvecklar.

Organisationer har egna "**theories of action**" som påverkar handlandet. Dessa är dels sådana som man annonserar utåt, "**espoused theories**", dels teorier som egentligen används i det konkreta handlandet, "**theories in use**". Organisatorisk inlärning ses som test och förändring av "theories of action".

Samtidigt finns ett dilemma eftersom organisationer egentligen inte kan lära eller tänka. Det är svårt att förstå vad som menas med en organisation som

handlar, vilket ligger implicit i en "theory of action". Individer i en organisation gör saker som organisatoriskt handlande inte omfattar. Argyris & Schön tar utgångspunkt i att förstå organisatorisk inlärning respektive handlande, dels i relation till individuellt handlande, dels som något särpräglat.

Författarna ställer upp tre viktiga krav för att en samling människor skall kunna betraktas som en organisation:

1. Beslut i namn av ett kollektiv skall vara möjliga.
2. Möjligheter att delegera till individer att handla i kollektivets namn.
3. Det skall vara möjligt att sätta gränser mellan kollektivet och resten av världen.

Så länge det finns regler för hantering av organisationen existerar denna oberoende av individer som kommer och går. Man observerar organisatoriskt handlande från beslut och handlingar utförda av individer, men de ligger på en organisatorisk nivå, då de leds av kollektiva regler för beslut och delegation. Genom ett kontinuerligt handlande och utvecklande av regelsystem, normer och strategier för olika handlande skapas en "theory of action" för organisationen. Det är en teori för att uppnå organisatoriska mål. Den innehåller i sig mönstret för kommunikation och kontroll, sätt att allokera resurser, belöningar och bestraffningar av individuella beteenden. Den behöver inte vara explicit, tvärtom står den formella organisationen ofta i konflikt med den teori som kan iakttas i det verkliga beteendet.

Varje individ i organisationen utvecklar sin syn på "theory in use" och sin egen representation av denna. Det är en aktiv process av organiserande, med individer i ständig kamp för att lära känna organisationen och sig själv i relation till denna.

Organisationer är utsatta för ständiga förändringar, som också får effekter för organisationens "theory in use". Alla förändringar är naturligtvis inte organisatorisk inlärning, tvärtom kan förändringar innebära en utarmning av organisationens kunskaper.

Huvudbidraget i boken är att Argyris & Schön utvecklar ett språk för olika slags organisatorisk inlärning. Den första kallar de **"single loop-learning"** och är den minst krävande formen av inlärning. Här strävar organisationen att bevara sin "theory in use". I sin kontakt med den omgivande miljön återgår olika utfall till organisationen och kopplas till strategier och antaganden. Dessa modifieras för att upprätthålla organisationens utfall inom ramen för organisatoriska normer som själva förblir oförändrade.

Det är individer som är agent för organisationens inlärning, som inträder när individen upptäcker överensstämmelse eller brist på överensstämmelse i utfall som bekräftar eller avviker från organisationens "theory in use". För att det skall bli organisatorisk inlärning måste den nya kunskapen komma in i organisationens minne, annars är det enbart individen som lär sig. Individuell inlärning är alltså en nödvändig men inte tillräcklig förutsättning för organisatorisk inlärning. Den individuella agentens uppgift upphör inte förrän effekter fortplantas in i organisationen och förkroppsligats i strategin och grundläggande antaganden. Dessutom måste organisationens nya medlemmar lära sig den nya kunskapen.

Det andra centrala begreppet är **"double loop-learning"**. Detta bygger på att det i vissa fall krävs att organisationens normer modifieras för att felaktiga utslag skall kunna rättas till. Detta kan exempelvis uppstå då det blir konflikt mellan krav för nya mål och etablerade normer. Denna konflikt måste då erkännas och det måste skapas nya normer för att man skall uppnå de nya målen. Vid **"double loop-learning"** måste en omstrukturering av både normer, strategier och antaganden genomföras och implementeras i den "organisatoriska karta" som är kod för organisationens "theory of action". Med den "dubbla inläringen" menas alltså att både strategi och normer måste förändras. På ett konkret plan visar sig ofta behovet av dubbel feedback i konflikter mellan olika grupper i organisationen. "Double loop-learning" blir då ett sätt att lösa sådana konflikter, vilket måste ske via djupgående undersökningar och inte genom konfliktlösning på en ytlig nivå. Det finns stora risker för att det blir en lösning som snarare kan hänföras till kategorin "single loop-learning".

Vissa "theories in use" är mera centrala än andra. De mindre viktiga kan då förändras utan att påverka resten av teoriuppsättningen i någon större omfattning. Det är snarare en kontinuerlig skala från single till double loop-learning än klart avgränsbara grupper.

Ett ytterligare centralt inlärningsbegrepp är **"deutero learning"**, ett slags inläring av konsten att kontinuerligt lära. Begreppet har utvecklats av Bateson (1972). Det gäller att lära sig hantera en klass av förändringar med hjälp av organisatorisk inläring. Detta sker främst genom att lära sig av och om tidigare organisatorisk inläring - tidigare episoder av framgångsrikt respektive mindre framgångsrikt lärande i organisationen. Denna form av inläring är relevant för både "single loop" och "double loop-learning".

Svalander (1979) har ytterligare behandlat relationen individuell-organisatorisk inläring. Han menar att organisatorisk inläring ibland kan innebära motsatsen till individuell inläring. Många gånger går det inte att återföra den kunskap och förmåga som utvecklats i organisationen till enskilda individer eller aggregat av individer. Istället är det organisationens struktur som är "bärare" av den organisatoriska inläringen, som också sker genom förändringar i strukturen.

Rhenman & Skärvad (1977) har liksom Normann pekat på att inläringen kan påverkas genom att förändra maktförhållandena i organisationen. Därmed förändras utrymmet för handling och förväntningar förändras så att individerna i organisationen påverkas.

Ett framgångsrikt exempel på organisatorisk inläring?

Argyris & Schön menar själva att trots sina breda erfarenheter har de inte funnit något verkligt framgångsrikt exempel på "double loop-learning", utan enbart tendenser till detta.

En författare som menar sig funnit ett bra exempel på organisatorisk inläring är Mariann Jelinek som behandlar Texas Instruments ur perspektivet organisatorisk inläring (Jelinek 1979).

Författaren var intresserad av organisationer som sysslar med långsiktig planering och ville studera ledningstekniker för ett systematiskt handhavande

av innovationer. Texas Instruments är ett framgångsrikt företag som dessutom lever i en mycket föränderlig miljö.

Hon tar utgångspunkt i olika organisationsteoriers historia för att jämföra teorier för operationell verksamhet med teorier för innovationer. Här tar hon hjälp av en beskrivning av hur de administrativa systemen utvecklades i företagen DuPont och General Motors. I takt med ökad storlek nödvändiggjorde verksamheten en systematisering av ledningsprinciper. Dessa företag blev pionjärer i att utveckla ledningssystem för löpande verksamhet.

Texas Instruments har lyckats skapa ett framgångsrikt administrativt system där man även lyckats institutionalisera hur man skall leda innovativ verksamhet.

Texas Instruments utvecklades ur ett företag som startats på en seismografisk uppfinning för användning vid oljeutvinning. Det fanns en grund i innovationer som spelat en stor roll i företagets utveckling. På 1940-talet bestämde man sig för att utveckla ny verksamhet kring en kommersiell transistor. Man fick då ett behov av nära samarbete samtidigt med diversifiering och man behövde ett bättre system för ledning avseende teknik, produktion och marknad.

Ett administrativt system för integrering skapades som gick under namnet product-customer group (PCG). Detta system avsåg att skapa samstämmighet mellan produkt-kund och avsåg existerande produkter. Man upptäckte omkring 1960 att systemet uppmuntrade till kortsiktigt tänkande och skapade splittring i organisationen. Det fanns behov av en policy för innovationer som måste stå i överensstämmelse med en strategi. Innovationer måste omfatta hela spektret av att skapa, producera och marknadsföra en produkt. Störst betydelse låg just på att skapa en marknad och att då bestämma mål i form av produkter för denna. Strategin krävde att man inte isolerade specialister till en utvecklingsenhet.

Just p g a svårigheterna med innovativ verksamhet måste man systematisera denna. Ett explicit planeringssystem som gick under beteckningen OST, vars tre bokstäver stod för objectives, strategies och tactics, skapades. I detta utvecklades en hierarki av mål på olika lång sikt, där på ett detaljerat sätt produkter, marknader, program och teknologier definieras. De olika nivåerna i hierarkin var corporate objectives, business objectives, strategy och tactics. Strategisk planering var en del av verksamheten på alla nivåer. Man ville skapa spänning genom långsiktiga och kortsiktiga mål på ett decentraliserat plan.

Företagets centrala forskningsenhet blev involverad i framtagandet av konkreta produkter tillsammans med ansvariga divisioner. Genom att formalisera den innovativa verksamheten i ett administrativt system menar Jelinek att det skedde en övergång från individuell till organisatorisk inlärning. En förutsättning var att systemet institutionaliserades för att sedan kunna generaliseras i organisationen. I OST-systemet rutiniserades genom ett formellt system utvecklingsverksamheten såväl som den operativa verksamheten. Just genom att formalisera även innovationsverksamheten försökte man försäkra att systemet tog tag i idéer och förde dem vidare.

Ett mycket viktigt inslag i det administrativa systemet är att man bygger in det i organisationskulturen. Dess användning måste motiveras och samstämmighet

skapas med värderingar i organisationen och förväntningar som ställs på dess medlemmar.

Jelinek menar att administrativa system är en god utgångspunkt för att skilja organisatorisk inläring från individuell. I ett sådant system kodifierar man organisationens inläring som därmed blir en tillgång för alla. Nya vägar och strategier blir en del av en medveten och styrd inriktning. Man kan där löpande ta hand om paradigmskiften.

Till sist menar författaren att ett sådant administrativt system måste ses som en historisk utvecklingsprocess, som det inte går direkt att flytta över till andra organisationer. Där skulle det enbart skapa kulturchocker. Det administrativa systemet är just mekanismen för organisatorisk inläring, där innovativ verksamhet måste gå hand i hand med den etablerade.

Branscher som sociala system

En utvecklingslinje har således varit mot att se organisationer som lärande system. Under andra hälften av 1970-talet har också en ökad uppmärksamhet mot att förstå hur hela industrier eller branscher uppkommer och utvecklas vuxit fram.

Studium av branscher är naturligtvis inget nytt för 70-talet. Inte minst inom nationalekonomin har man studerat hela branscher (6).

Inom SIAR har vi under senare år gett ökad uppmärksamhet åt branschnivån och börjat utveckla ett språk för beskrivning och analys av branschutveckling (se Andersson et al 1982).

Det delvis nya är att se branscher som sociala system under dynamisk förändring. Tidigare har produkters utveckling beskrivits med hjälp av en produktlivskurva. Denna kan analogt överföras till att också beskriva hela branschens utvecklingsförlopp. Liksom en produkt så genomgår normalt en bransch ett antal utvecklingssteg, som till sin karaktär är mycket olika. I de första stadierna gäller det att få en teknologi att fungera och att utveckla applikationer. I därpå följande stadier är kritiska moment att rationalisera produktion och distribution. Liksom en produkt kommer vanligen en bransch in i ett mognadsstadium, där krav på omorganisation ofta är nödvändig för överlevnad. Branscher som präglas av denna utvecklingssituation kallar Andersson et al för basteknologi- eller kärnteknologiföretag.

Företagsledningsproblemen är oftast störst under innovations- och mognadsstadierna. Då präglas situationen av hög grad av osäkerhet, inte minst därför att nyutveckling måste till av något slag. Det går inte att arbeta längs några redan välkända trender.

Samtidigt har man kunnat iaktta att vissa företag inte kan beskrivas med hjälp av en branschutvecklingskurva. En del företag verkar i miljöer där mer eller mindre markanta avvikelser från ett kontinuerligt tillväxtförlopp är det karaktäristiska. Byggentreprenadföretag nämner Andersson et al som exempel. Dessa företag kan bygga en mängd olika saker med hjälp av olika byggmaterial som produceras av andra företag. Entreprenadföretaget har således inte att kommersialisera en produktidé, utan att fungera som ett slags sammanbindande länk

mellan olika omgivande system av varuproducerande företag och användarkategorier. De fyller en intermediär funktion. Dessa företag följer inte en branschutvecklingscykel utan styrs främst av utvecklingen i omgivande system. I en snabb omvärldsförändring har ofta ett intermediärt företag en viktig funktion i att sammanlänka producenter och användare, medan efterfrågan på dess tjänster minskar i tider av stagnation.

En annan iakttagelse enligt Andersson et al är att företag i andra branscher inte kan effektiviseras i mognadsstadiet genom en omorganisering av branschen. I dessa "fragmenterade" branscher finns inga fördelar att vinna med hjälp av stordrift.

Andra som också diskuterar branscher som system under dynamisk förändring och med inbördes olika karaktär är bl a Porter (1980) samt konsultgruppen Boston Consulting Group (BCG).

Porter arbetar med begreppen fragmenterade, framväxande, mogna, stagnerande samt globala industrier. En fragmenterad industri är en sådan där inget företag har tillräckligt hög marknadsandel för att kunna starkt påverka branschens utveckling. Istället finns ofta ett stort antal mindre och medelstora företag. I fragmenterade branscher finns inga stordriftsfördelar.

Begreppen framväxande, mogna och stagnerande branscher klassificerar en branschs utvecklingssituation under ett branschutvecklingsförlopp och har således stora likheter med Andersson et al diskussion om kärnteknologiföretag längs en branschutvecklingskurva. En global bransch kan närmast ses som en teknologibaserad bransch med stordriftsfördelar på internationell basis.

BCG har utifrån sin produktmatris utvecklat en matris för klassificering av olika branscher. De skiljer i stort mellan fyra olika branscher enligt figur 1.

Antal sätt att
uppnå strategisk
fördel

Många	"Fragmenterade industrier" - Restauranger	"Specialiserade industrier" - japanska bilar på USA-marknaden
	Mogna industrier - stål	"Volym (bulk) industrier" - aluminium
Få		
	Liten	Stor
	Potentiell storlek av den strategiska fördelen	

Figur 1. BCG branschmatrix. (Källa: Kiechel, W., New Management Strategies, Fortune, Oct 19, 1981)

DEL II. FALLBESKRIVNING ÖVER DATORTOMOGRAFIN

Efter att ha presenterat studiens bakgrund samt teoretiska och metodologiska utgångspunkter, skall vi i denna del ge en längre beskrivning av datortomografins utveckling.

I några inledande kapitel behandlas röntgendiagnostikens tidiga utveckling, röntgenindustrins framväxt samt ges en teknisk beskrivning av datortomografi.

Därefter presenteras företaget EMI och behandlas utvecklingsarbetet inom detta företag som ledde fram till datortomografen.

Ytterligare några kapitel handlar om hur EMI satsade på att bygga upp en egen tillverkning och marknadsföring av datortomografi och hur företaget senare kom in i ekonomiska svårigheter.

Avslutningsvis ges en bild av några kompletterande och konkurrerande tekniker samt av datortomografins spridning i främst USA och Sverige.

3. FRAMVÄXTEN AV EN RÖNTGENDISCIPLIN (1)

Detta inledande kapitel ger en bakgrund till datortomografins utveckling. Här behandlas röntgendiagnostikens framväxt och hur allt fler metoder utvecklats och som idag gör det möjligt att undersöka de flesta kroppsorgan.

Röntgendiagnostik är idag en omfattande verksamhet

Dagligen genomföres ett mycket stort antal undersökningar på världens olika röntgenavdelningar. De flesta av kroppens organ är nu möjliga att undersöka med hjälp av röntgenstrålning. Enbart i USA uppgår antalet röntgenundersökningar till cirka 180 miljoner per år, vilket motsvarar cirka 90 besök per 100 personer (exklusive tandundersökningar). 1975 uppgick den totala kostnaden för dessa undersökningar till cirka 4,8 miljarder dollar, vilket svarade för 4% av den summa som spenderades på hela sjukvårdssektorn.

Även här i Sverige genomföres flera miljoner undersökningar per år. Vid Lunds lasarett gjorde man 1980 något mer än 130.000 undersökningar (2) och på ett litet lasarett, som Landskronas, ca 25.000.

Ett besök på en modern röntgenavdelning vid ett större sjukhus är för en oinvigd lekman intressant och överraskande. Omfattningen och variationen på verksamheten överstiger vida vad man väntat sig. Under ett studiebesök får man se undersökningsrum med stora avancerade röntgenrör som hänger ned från taket och med ett patientbord rörligt i alla led. Här undersöker röntgenläkaren kanske magen på någon patient och flyttar kontinuerligt röntgenrör och patientbord i förhållande till varandra för att få bästa möjliga bild. I ett annat rum kanske patienten står upp på ett vertikalt patientbord medan röntgenläkaren i en TV-skärm iakttar när patienten sväljer kontrastmedel. I ytterligare ett tredje rum finns utrustning som gör det möjligt att med hjälp av kontrastmedel studera människohjärnans inre. Här arbetar röntgenläkaren och hans assistenter tillsammans och man associerar till något slags operation. Det fjärde rummet gör det möjligt för röntgenläkaren att studera funktionen hos njurarna och urinvägarna.

Om vi gör vårt besök i slutet av 1970-talet får vi också se nya och annorlunda tekniker, såsom datortomografi och två tekniker som inte bygger på röntgenstrålning, isotopteknik och ultraljud.

Under samtal med någon läkare får vi veta att röntgenavdelningen på ett stort region/universitetssjukhus kanske budgeterar för 35 Mkr per år, har cirka 140 anställda, varav 35-40 st röntgenläkare, och undersöker cirka 500 patienter per dag. (3)

Innan vi kommer in på datortomografen och dess utveckling vill vi ge en relativt fyllig bild av röntgens historiska utveckling och vad som präglade denna verksamhet i början av 1970-talet, då datortomografen gjorde entré.

Röntgenstrålningen upptäcks

Hela denna verksamhet tog sin början en november natt 1895 i ett laboratorium i Würzburg, när professorn i fysik vid stadens universitet, Wilhelm Conrad

Röntgen, under ett försök med katodstrålning i ett urladdningsrör fann att en då ditintills okänd strålning utgick från rörets vägg, där detta träffades av katodstrålning. Han förstod att han upptäckt något intressant men visste inte om iakttagelserna var riktiga. Under intensiva dagar och nätter fortsatte Röntgen att studera det nya fenomenet. Han insåg att han funnit ett nytt slags strålning med en unik kraft att penetrera olika material och som var fullständigt osynlig för ögat. Under de följande veckorna upptäckte han till sin förvåning att denna strålning kunde tränga igenom trä, metall och en del andra material som tidigare betraktats som fullständigt "ogenomskinliga" för all sorts strålning. (4)

Röntgen arbetade med ett urladdningsrör, som var fullständigt inhöljt i svart papper. Ett bariumplatinacyanurpapper låg vid sidan på bordet. Han sände en ström genom röret och märkte genast en egendomlig svart linje på papperet. Effekten var sådan att den enligt dåtida föreställningar bara kunde härröra från en ljusstrålning. Det var emellertid uteslutet att det kom något ljus från röret, därför att det täckande papperet säkert inte släppte igenom något ljus, inte ens ljuset av en elektrisk båg-lampa. Röntgen förmodade att effekten måste härröra från röret och startade noggranna försök, som tog bort alla tvivel, det kom verkligen strålning från röret vilken utövade en luminiserande verkan på skärmen. Något nytt slags ljus kunde det inte vara då det varken reflekterades eller bröts. (5)

En strålning med en sådan genomslagskraft kunde också gå igenom mjukdelar, vilket snabbt visade sig när han fotograferade en hand med hjälp av glasplattor inlagda i svart papper och ett urladdningsrör placerat under ett bord.

Tidigt blev Röntgen övertygad om att den nya upptäckten hade en mängd potentiella tillämpningar. De sista dagarna i december sände han in en artikel till Würzburgs Fysikalisk-medicinska sällskap för publicering i deras tidskrift. Han kallade artikeln "Über eine neue Art von Strahlen". (6)

Upptäckten spred sig mycket snabbt och redan den 23 januari 1896 höll Röntgen sin första offentliga föreläsning om sin upptäckt. Till en början kallades den okända strålningen för X-strålning, men på förslag döptes den till röntgenstrålning efter sin upptäckare.

Redan den 30 januari 1896 skrev tidsskriften "The Nation" om den stora betydelse som röntgenstrålning skulle få för kirurgin och vid diagnosticering av sjukdomar eller frakturer i ben. Röntgenbilden kunde genast avslöja karaktären på frakturer utan långa och för patienten besvärliga undersökningar. Likaså gavs möjligheten till en andra bild efter behandling för att försäkra att frakturen lagts i rätt läge.

Röntgendiagnostikens utbredning

Röntgendiagnostik bygger på att kroppens olika vävnader absorberar röntgenljus i olika grad och på röntgenfilmen eller -skärmen avbildas med olika täthet. De organiska vävnaderna har i stort sett fyra olika täthetsgrader, 1) benens 2) mjukdelarnas 3) fettvävens och 4) de luftfyllda organens. På sin kalkhalt framträder skelettdelar i stark kontrast mot övriga vävnader. (7)

Hud, muskulatur, körtlar, blodkärl och nervvävnader har tätheter som ligger nära varandra och kan därför endast i ringa mån särskiljas på röntgenbilden.

Fettets täthet åter är mindre varför fettlagren är väl synliga, det gäller för exempelvis njurarna som är omgivna av fettkapslar. Genom sin stora lufthalt kontrasterar lungorna mot den omgivande bröstväggen, samt mot hjärtat.

Luftsamlingar i magsäck och tarmkanal gör att dessa organ i viss mån framträder, dock ej i den mån som krävs för framgångsrik diagnostik. Såväl dessa som andra organ, såsom urin- och gallvägar, hjärna och ryggmärg m fl, fordrar för att kunna röntgenundersökas en utfyllnad av sina håligheter med ämnen av starkt avvikande absorptionsförmåga, sk kontrastmedel.

Röntgendiagnostik utföres dels genom röntgenfotografering på film (radiografi), dels genom direkt iakttagelse på fluorescensskärm (genomlysning), ofta genom en kombination av bägge.

Under de första åren efter röntgenstrålningens upptäckt verkade det som om den enbart skulle användas för diagnostik och uppföljning av olika **frakturer** (benbrott) (8). Den höga tätheten i ben medför en kontrast mellan svart och vitt som gör det möjligt att urskilja ben tydligt på en röntgenbild. På så sätt föll det sig naturligt att de första läkarna som tog till sig den nya tekniken var frakturkirurger (9). Successivt upptäckte man att andra sjukdomstillstånd i skelettdelarna kunde fångas med röntgenstrålning. Bencancer och olika inflammationer hörde till dessa, genom att de avvek från den normala strukturen. Röntgen har successivt utvecklat sig till det klart viktigaste diagnosmedlet för ortopedien.

I ett tidigt skede började läkare som specialiserat sig på **lung- och bröstsjukdomar** (10) att använda sig av röntgen i sitt diagnosarbete. De har kommit att i stor omfattning bli beroende av röntgen snarare än att finna sjukdomen med andra metoder. Förut knackade man på bröstet, lyssnade på det, kände på det och litade på dessa metoder för att lokalisera och bestämma sjukdomens typ. Till betydande del har denna metod ersatts av röntgenundersökning, även om den fortfarande används för att bekräfta en diagnos, men kan inte jämföras i betydelse med den verkliga bilden av lungorna.

På en röntgenbild framträder lungorna mörkgrå till svart. Detta beror på den stora mängden luft som innehålls i normala lungor och den lätthet med vilken röntgenstrålning går igenom denna luft och registreras på röntgenfilmen. Detta står i kontrast till det tunga motstånd som möter röntgenstrålningen när den träffar hjärtat och revbenen.

Lungröntgen har under större delen av 1900-talet spelat en viktig roll för upptäckt av tuberkulos. Under långa perioder har det varit ett allmänt inslag i bilden att röntga lungorna hos skolbarn och värnpliktiga.

Ett av de viktigaste och mest betydelsefulla fynden har varit lungcancer, vilken ständigt har ökat i antal under 1900-talet. Med hjälp av röntgen ger canceren ifrån sig en del tecken, och då tidig upptäckt är det enda hoppet för patienten, spelar röntgenundersökningen och diagnosen en viktig roll. Röntgenläkaren måste avgöra om olika förändringar på bilden är tidiga tecken på en cancer, vilket i detta stadium är svårt.

Även vid olika former av virusinfektioner i lungorna, såsom lunginflammation, har röntgen kommit att bli ett viktigt diagnosmedel. På en röntgenfilm ersätts den normala mörkgrå till svarta lungvävnaden i vissa segment av en tät vit förändring. Denna demonstrerar den del av lungan som är inblandad i lunginflammationen.

Undersökningen av **hjärtat** (11) med hjälp av röntgen fick inte framgång så snabbt som för lungor och skelett. Hjärtmuskeln avtecknar sig tät mellan de båda lungorna i centrum av bröstkorgen. På grund av sin muskelkaraktär och sitt blodinnehåll, ligger dess täthet i närheten av revbenens. Hjärtat är också i ständig rörelse och för att fånga det i stillhet måste man exponera med 1/10 till 1/60-dels sekund. Till en början var de främsta röntgendiagnostiska framstegen förknippade med upptäckt av förstörade hjärtan, som då visar sig fylla en stor del av brösthålan, framförallt dess vänstra sida.

Bedömning av hjärtsjukdomar med hjälp av röntgenbilder har successivt blivit en mycket komplex konst. Det är idag inte bara möjligt att bestämma att hjärtat är förstorat, utan också att korrelera denna förstoring med hjärtkamrarna och se vilken eller vilka av dessa som blivit förstörade. Andra hjärtåkommor, som tidigare ansågs som medicinska kuriositeter, har i takt med hjärtkirurgins utveckling blivit behandlingsbara och därmed skapat ökat intresse kring sig. En stor grupp upptas av medfödda hjärtfel, en annan av hjärtinfarkter. I dessa fall har hjärtröntgen kommit att bli ett viktigt inslag.

Införandet av kontrastmedel

Många av kroppens organ visar inte sin inre struktur på röntgenfilm utan speciella hjälpmedel. **Magen** var knappast möjlig att se tills idén om att ta till barium som kontrastmedel kom upp 1904. Vid den tidpunkten tog röntgenundersökning av magen ett stort steg framåt och möjliggjorde för en tränad iakttagare att se bevis på magsår, cancer och andra sjukliga tillstånd. Ett stort arbete lades ner på att finna lika lämpliga kontrastmedel i syfte att öppna andra organ för röntgenundersökning.

När en undersökare vill studera ett organ och göra det synligt på röntgenfilm, är hans första problem att finna tillträde till organet. Med magen är detta lätt, då allt som är nödvändigt är att patienten sväljer en bariumkontrast. Däremot om man önskar öka tätheten av t.ex. njurarna finns ingen sådan lätt ingång: svalt mat går inte igenom njurarna. Problemet är då att finna ett agens som kan vandra mot organet genom fysiologiska processer. När man funnit ett sådant agens, sammanlänkas detta med ett tätt element som efter att ha svalts eller injicerats når oavsett organ och gör att detta visar sig vid röntgenundersökning. (12)

För undersökning av **gallblåsan** behövs just ett sådant material som koncentreras genom fysiologiska processer. Tidigt under 1900-talet forskade man kring sådana här substanser, men lyckades först 1924 då Graham och Cole visade en gallblåsa som innehöll kontrastmaterial efter att ha injicerats intravenöst. En kort tid efter fann man på en metod att ge medlet genom munnen i tablettform. På så sätt fick läkarna en metod för att undersöka gallblåsan och fick ett viktigt hjälpmedel i sitt kirurgiska arbete. Bl a kunde gallstenar göras synliga med hjälp av denna nya teknik. Successivt har kontrastmedlen blivit bättre och avslöjar nu mycket små stenar. (13)

Andra organ som till en början endast framträdde i starkt begränsad omfattning var **njurarna**. Man kunde inte få någon uppfattning om deras inre struktur och eventuella sjukliga processer. För detta blev införandet av kontrastmedel en nödvändighet, som gör att en mycket detaljerad och avslöjande bild av njurarnas struktur erhålles. Patienten ges en intravenös injektion, som inom några minuter sprids ut till njurarna. Röntgen har därmed gjort det möjligt att studera funktionen, eventuella strukturella felaktigheter samt sjukliga förändringar i njurarna.

Även vid en undersökning av **lungorna** kan idag kontrastmedel användas. Man för ner medlet med hjälp av en slang. Med denna metod görs luftrören synliga och tillräckligt täta för att synas på röntgenbilden. Genom användning av kontrastmedel ges ökad information om bl a olika sjukdomar i bronkerna.

Ett av de mera dramatiska områdena inom röntgendiagnostik har varit **skallens inre**. Till en början var detta ett otillgängligt område, men har successivt i takt med ett antal olika metoder öppnat sig för insyn, där det senaste steget var datortomografin.

Vid tiden för första världskrigets slut, 1918, kom det första stora framsteget, då den i lekmanakretsar fruktade luftskallemetoden togs fram av den amerikanske läkaren Walter Dandy. Genom att injicera luft eller annan gas för att fylla ut hjärnans hålrum kan man göra avvikelser från det normala synliga, exempelvis hjärnblödningar och tumörer. Under årens lopp har metoden successivt förfinats med tekniska förbättringar i löpande takt.

Ett andra betydelsefullt steg togs när kärlundersökning (angiografi) (14) kom på 1940-talet. Metoden hade utvecklats redan 1927 av den portugisiska röntgenläkaren Egas Moniz, men fick spridning först under 1940-talet. Genom denna metod kan man göra hjärnans blodkärl synliga. Patienten ges en genomskinnlig lösning injicerad genom en av artärerna som går från halsen till skallen. Den nödvändiga röntgenutrustningen är mycket högt specialiserad, med snabba filmväxlare och ett flertal hjärnmekanismer. Filmerna tas över en viss tidsperiod med automatiska arrangemang under och direkt efter injektionen. När bilderna studeras visar de vanligtvis artärernas formation i skallen med stor klarhet och ger observatören betydande information avseende position, onormala strukturer och sjukliga processer. Man kan med denna metod upptäcka hjärntumörer och svaga punkter i artärerna som kan leda till slaganfall. Upptäcks dessa i tid kan vidare utveckling förhindras med kirurgiskt ingrepp.

Den invecklade beskaftenheten av denna sektor av diagnostisk radiologi har producerat en underspecialitet inom vilken radiologen ägnar sig på heltid åt röntgenfynden i hjärnan och ryggmärgskanalen. Han kan därmed utveckla en djup kunskap om röntgenfynd i dessa delar av kroppen och blir en expert i att hitta avvikelser från det normala. Den vetenskapliga kvaliteten på apparaturen är likvärdigt hög, och hittas främst inom institutioner som ägnar sig åt den här formen av röntgenundersökningar i större omfattning. Utrustningen är komplex och dyrbar och fordrar för sitt handhavande väl tränade tekniker.

En annan av de mer dramatiska och under 50-talet utvecklade metoderna är hjärkateterisering, som blivit ett betydelsefullt diagnosmedel för **hjärtat**. Det blev möjligt att från en arm eller axel föra in en smal slang i ett kärl tills den kommer ända in i hjärtats kammare. Där används den för att samla en mängd

betydelsefull information. Det relativa blodtrycket i varje kammare kan mätas och syrekonzentrationen i de olika kamrarna kan uppskattas.

Denna röntgenmetod är speciellt viktig vid diagnostisering av fall där hjärtat är missbildat från födseln. Kateterns väg till hjärtat observeras med genomlysning (fluoroskopi) och när den nått hjärtat kan kontrastmedel ges. Detta visar sig först i en kammare och följer sedan blodet in i andra kammaren. Metoden är av speciellt värde för undersökning av abnormaliteter som förberedelse till kirurgiskt ingrepp.

Radioterapi blir en särskild specialitet

Ett av de mest uppmärksammade karaktärsdragen hos röntgenstrålningen, som redan Röntgen själv upptäckte 1895, var det till synes ofarliga sätt som strålarna penetrerade mänsklig vävnad utan att vålla smärta, känsla av värme eller någon annan omedelbar sensation; men det tog inte lång tid för experimentörerna att lära att trots avsaknad av omedelbara effekter ledde stora doser till rodnad av skinnet, blåsor och sår. Även små doser under lång tid medföljdes av hudförändringar. Ett agens som var så effektivt i att döda normal vävnad måste vara ämnat för terapeutiskt ändamål om man kunde finna ett sätt att rikta dess skadliga verkan mot speciella sjukliga delar. Forskning inom detta område tog vid och radioterapi blev ett av medlen i kampen mot cancer. (15)

Idéer av ett flertal personer blev viktiga föregångare till de av Röntgen och efter 1985 svällde strömmen av oräkneliga bidragsgivare. En italienare, Fermi, bidrog med idéer inom nukleärfysik, fransmän, bland dem Curie, som upptäckte radium, etablerade betydelsen av tidsfaktorn som en moderator vid kroppsvävnadernas reaktion mot strålning. (16)

Tyska fysiker gjorde viktiga bidrag och tyska läkare, bl.a Holthusen, studerade stora mängder kliniskt material för att erhålla empiriska kunskaper. I Skandinavien arbetade Forssell och Sievert med att förfinas och utveckla dosimetritekniken och applicerade fakta som konstaterats i laboratorium till full skala. (17)

I Storbritannien fanns bidragsgivare av två slag. Under slutet av 1800-talet och början av 1900-talet intog brittiska fysiker en ledande position i utvecklingsarbetet kring röntgenfysik. Senare ökade brittiska läkare och radiofysiker precisionen med vilken strålningen kunde regleras och riktas och utökade kunskapen om hur normal och sjuklig vävnad reagerade mot strålningen.

I USA utvecklade och producerade Coolidge, som arbetade inom General Electric, röntgenrör överlägsna de som tidigare funnits, och Compton och hans studenter ägnade sig åt röntgenstrålningens natur och fann viktiga fakta kring dessa.

Andra forskare ägnade sig åt att utveckla cyclotroner som kunde accelerera partiklar av olika slag och utförde biologiska experiment avseende joniserande strålning. Denna forskning fungerade som vägledare för många liknande aktiviteter senare.

Radioterapi har utvecklats till en högt specialiserad disciplin, som sysslar med cancerbehandling med hjälp av strålning. Inom denna specialitet spelar både läkare och fysiker en viktig roll.

Några röntgentekniska utvecklingssteg

Vid röntgenstrålningens upptäckt fanns ingen egentlig teori kring dess egenskaper. Allt som var känt under Röntgens dagar och en tid efter var att man behövde ett delvis evakuerat glasutrymme, en källa av negativ elektricitet och en lämplig mottagare. Då, om skillnaden i elektrisk kraft var tillräcklig, producerades katodstrålning och röntgenstrålning uppträdde.

Eftersom de tidigare rören var mycket oregelbundna i sin produktion av röntgenstrålning, centrerades forskningen på deras förbättring. Många olika lösningar provades, men ett betydande framsteg kom först då Coolidge vid General Electric kom på att placera volfram nära katoden. (18) Successivt har rörens kvalitet höjts och bl.a har nya metoder för att undvika överhettning tagits fram.

Ett annat viktigt område, där forskningsarbete lett till betydande framsteg, är röntgengeneratorer, d.v.s energikällan som gör det möjligt för röntgenröret att producera strålningen. De första mekaniska systemen förde ett enormt oväsen, vilket av många patienter upplevdes som skräckinjagande. Modern elektronik har nästan fullständigt förändrat detta.

Tillsammans med utvecklandet av högvoltsgeneratorer och med dagens förfinade röntgenrör, har kommit en åtföljande utveckling av utrustning i anslutning till röntgenstrålning. Man lade märke till att när en röntgenstråle riktades mot kroppen blev den diffus i sin riktning p.g.a sekundär strålning producerad från atomerna i vävnaderna. Som ett resultat fick man i vissa fall en röntgenbild som var vag och det var svårt att urskilja detaljer vilket gjorde granskningsarbetet svårt. Detta problem lyckades man övervinna med en idé som medför att man endast släpper igenom den strålning som kommer med 90° vinkel mot röntgenfilmen.

Andra utvecklingssteg innebar att man skilde totalt på röntgenrör och patientbord, vilket gav möjligheter till ett flexiblere användande, där olika positioner kunde intas med ett minimum av ansträngning för patient och läkare (undersökare). Tidigare har röntgenröret varit placerat i en räls i taket, vilket begränsade handlingsfriheten vid undersökning.

Betydande framsteg gjordes inom filmhållare och kassetter. Doktor Michael Pupin vid Columbia University upptäckte att man kunde öka röntgenstrålningens effekt på filmen genom att skjuta in en fluorescensskärm innanför filmhållaren. De hade likhet med de skärmar som Röntgen ursprungligen hade upptäckt och utforskat röntgenstrålning med. Skärmarna kan nu erhållas i varierande former från långsamma till snabba och är en del av utrustningen på alla röntgenlaboratorier. På liknande sätt har viktiga framsteg gjorts avseende film och filmframkallare.

Under 50-talet togs ett nytt fluoroskopisystem fram, där den bild som röntgenläkaren ser har ökat i ljusstyrka med 300 ggr. När man söker efter ett litet främmande föremål i kroppen, efter ett litet magsår eller efter de tidigaste tecknen på cancer är en sådan förstoring av betydande vikt. Tidigare var läkaren vid fluoroskopi tvungen att arbeta i totalt mörker, medan den nya tekniken gjorde det möjligt att ha viss belysning i rummet, vilket bl.a möjliggör för ett flertal personer att delta i undersökningen.

Skapandet av en röntgenprofession och röntgenorganisation

När Sveriges förste egentlige röntgenolog, Gösta Forssell, som ung medicine kandidat bestämde sig för att ägna sitt liv åt röntgendiagnostiskt arbete undrade många om han skulle bli fotograf istället för "riktig" läkare. Detta var 1902, då han hade hand om röntgeninstallationen på den kirurgiska kliniken vid Akademiska Sjukhuset i Uppsala. Denna anekdot visar på att de tidiga reaktionerna gentemot röntgen som ett redskap inom medicinen innehöll mycken misstänksamhet.

Från att först ha tagits i bruk av privatpersoner installerades röntgenutrustning vid undervisningssjukhusen. I Sverige skedde detta i Uppsala 1898, Stockholm 1899 och Lund 1905. Till en början var det kirurger som såsom en bisyssla intresserade sig för den nya diagnostiketen. Ganska snabbt utvecklades emellertid röntgenarbetet till en specialsysselsättning för vissa läkare och en första trevande sammanslutning för dessa bildades i Sverige 1907. Först 1919 fick dock organisationen en mera fast form, då Svensk Förening för Medicinsk Radiologi bildades. (19)

Genom tillkomst av de första kontrastmedlen och en förbättring av den tekniska utrustningen utvecklades radiologin snabbt fram till 1919. Genom skapandet av en gemensam organisation erhöles ett forum, där resultat kunde framläggas och diskuteras, vidare ett organ som kunde representera röntgenprofessionen gentemot övriga medicinska discipliner. Man fick också vid denna tidpunkt en svensk radiologisk tidskrift, *Acta Radiologica*, som ett ytterligare forum för röntgenläkarna.

Gösta Forssell insåg på ett tidigt stadium att för att riktigt kunna utnyttja och utveckla den medicinska användningen av den nya strålningen och för att den tekniska färdigheten skulle bli så högt uppdriven som möjligt var det nödvändigt att koncentrera det radiologiska arbetet till självständiga enheter med läkare som uteslutande ägnade sig däråt.

En ledande tanke var behovet av oberoende, som ansågs som nödvändigt för att kunna driva en förutsättningslös forskning. I en verksamhet utan forskning finns inget verkligt liv.

Till en början delades dessa tankar inte av alla, vilket framförallt var vanligt i utlandet, där alltså på många håll röntgendiagnostiken organisatoriskt ligger under de behandlade klinikerna.

Gösta Forssells uppfattning och hans förmåga att få den genomförd anses vara en viktig orsak till att svensk radiologi utvecklades till en av de ledande i världen. Han utförde ett oerhört arbete för att föra fram det nya specialområdet vetenskapligt, att övertyga de många tvivlarna om dess möjligheter, att dra upp riktlinjer för den nya specialitetens organisation och att utbilda de läkare som sedan skulle föra specialiteten vidare. Han blev också världens förste professor i röntgendiagnostik. (20)

I linje med Forssells strävanden skapades också snabbt en särskild läkarkår och officiellt anses radiologin erkänd som en egen disciplin redan 1908. Då blev också Edling överläkare i radiologi i både Lund och Malmö. Han var då den ende röntgenläkaren, vilket kan jämföras med att f.n. Lund och Malmö har cirka 35-40 röntgenläkare vardera, förutom de läkare som ägnar sig åt radioterapi.

Strävandena gick hela tiden i Forssells riktning med en successiv centralisering av röntgendiagnostiskt arbete. Beroende på lokala förhållanden tog skapandet av genensamma och enhetliga röntgenkliniker olika lång tid. I Lund låg ända fram till 1950-talet ortopedisk radiologi under den ortopediska kliniken, vilken också ansvarade för verksamheten. På andra håll gick det snabbare och då ofta i samband med nybyggnation. I princip frainstod svensk radiologi som en självständig del av den medicinska vetenskapen, när man gick in i 1940-talet.

Parallellt med en centralisering har också delvis en specialisering inom röntgendiagnostik skett. På ett tidigt stadium bröts röntgenterapi ut från röntgendiagnostik. Den förra behandlingsformen krävde avancerad utrustning och hög specialistkunskap hos läkare och fysiker för en riktig användning. Dessutom var dess användning förknippat med stora risker. Redan under 1930- och 40-talen skapades i Sverige särskilda kliniker för radioterapi, bl.a i Lund och Stockholm.

I takt med möjligheter till operativa ingrepp i människohjärnan utvecklades också särskilda diagnosmetoder, såsom luftskalle och angiografi. Till en början utfördes de av allmänna röntgenläkare, i vissa länder t.o.m. av neurokirurger. Ganska snart utbildades en särskild specialitet inom ramen för röntgendiagnostik för undersökning av skalle och nervsystem, neuroradiologi. Undersökningarna krävde i sig ett högt utvecklat handarbete, utrustningen var relativt andra röntgenmetoder avancerad och bedömningen av röntgenbilderna var extra besvärlig, då de ofta endast gav indirekta tecken på sjukliga förändringar. Ett annat område som skapade en specialinriktning var barnradiologi. Utrustningen och undersökningsmaterial är här av speciell karaktär och kräver särskild träning för framgång. I huvudsak utvecklades denna specialitet parallellt med att man fick särskilda barnkliniker vid större sjukhus.

I huvudsak är det endast de större region- och universitetssjukhusen med särskilda kliniker för neurokirurgi och neurologi resp. barnkliniker som skapat enheter för neuro-och barnradiologi. I övrigt har röntgenklinikerna inte specialiserats i någon större omfattning och flertalet röntgenläkare på centrallasarett och lasarett med lägre dignitet sysslar med flertalet undersökningsformer för flertalet organsystem.

Först under 70-talet i samband med datortomografins tillkomst har man sett en centralisering av främst angiografi och luftskalleundersökningar till region-sjukhus med särskilda neuroradiologiska avdelningar.

Under 1960- och 70-talen började tendenserna till en ytterligare specialisering inom större röntgenkliniker uppträda. Man skapade särskilda avdelningar för undersökning av mage och tarmar, urinvägar samt hjärta och lungor. Undersökningsmetoderna hade successivt ökat i komplexitet och dessutom såg man under denna period nya tekniker såsom gammaisotoper, ultraljud och dator-tomografi komma in i röntgenmiljön. För att kunna upprätthålla en hög standard i olika undersökningar bedömdes det som nödvändigt att på större region- och undervisningssjukhus skapa en ytterligare specialisering. Till de olika avdelningarna knöts radiologer som till övervägande del skulle syssla med de organsystem som föll under specialiteten.

Vi har således i princip fått två slags röntgenkliniker, en med relativt hög specialisering, med ansvar för forskning och undervisning, och en utan specialisering med röntgenläkare som i allmänhet sysslar med flertalet organsystem.

Mer avancerade undersökningar som kräver komplex och dyrbar utrustning, såsom hjärtröntgen med invasiv karaktär, har centraliserats till vissa region-sjukhus. Detta är också fallet med de nya metoderna isotoptechnik och dator-tomografi.

4. RÖNTGENINDUSTRIN

Detta kapitel behandlar hur det parallellt med skapandet av en röntgenprofession utvecklades en röntgenindustri. Speciellt intresse läggs vid utvecklingsstävanden inom de etablerade röntgenföretagen i slutet av 1960- och början av 1970-talen, då datortomografin började utvecklas.

En röntgenindustri växer fram

Redan något eller några år efter Röntgens upptäckt av den nya strålningen fann företag med tillverkning av olika slags glasrör ett nytt och intressant område. Ett stort antal företag gick in i den hastigt framväxande branschen, vilket underlättades av att Röntgen själv vägrade att söka patent på sin upptäckt. I stället menade han att röntgenstrålningen skulle användas till mänsklighetens bästa och inte inmutas av någon speciell person.

I de första patentansökningarna, som istället kom ifrån företag, figurerade namn som Siemens, General Electric (GE) och CHF Müller (ett företag som under 1930-talet köptes upp av Philipskoncernen). Från bl a dessa företag fick Röntgen köpa sina röntgenrör och han klagade vitt och brett över de höga priserna. (1)

Till en början bestod tillverkningen i huvudsak av olika slags glasrör, vilket General Electric tidigt hade sysslat med. De röntgentekniska hjälpmedlen var primitiva och man använde sig av mycket enkla stativ. I samverkan mellan röntgenprofessionen och röntgenföretagen utvecklades i snabb takt bättre, säkrare och mera avancerad teknik, vilket var en förutsättning för att kunna etablera röntgenstrålningen som ett betydande hjälpmedel i läkarnas diagnosställande.

Under 1900-talet byggdes en välorganiserad röntgenbransch upp med General Electric, Philips och Siemens bland de ledande företagen. De flesta av dem utvecklade successivt ett brett varierat produktprogram som sträcker sig från små bärbara enheter till tung storskalig utrustning.

När man gick in i 60-talet, ett decennium som såg gammaisotopteknik födas och var starten för datortomografins utveckling, dominerades branschen av stora företag med gamla traditioner. Branschen präglades till viss del av mognad och olika firmor kände väl till varandras styrkor och svagheter. En klar marknadsuppdelning rådde, där de amerikanska företagen General Electric och Picker i huvudsak ägnade sina resurser åt hemmamarknaden.

GE's historia går tillbaks till starten av Edison Electric Light Company i oktober 1878, då några personer satsade ca 50.000 dollar som stöd till Edison's experiment med glödlampan. Som ett av de första företagen inrättade GE ett forskningslaboratorium 1901. William Coolidge var en av de mera namnkunniga av forskare verksamma inom GE's forskningslaboratorier. Hans uppfinning av vakumkatodstrålerör, för att generera röntgenstrålning, kom att bilda bas för en medicinsk sektor inom koncernen. GE utvecklade successivt under decennierna mellan 1930-1970 röntgenrör med effekter på 1-2 miljoner volt, med användning både inom medicinen och för materialprovning inom industrin. Koncernen omsatte i slutet av 1960-talet cirka 8,5 miljarder dollar och hade en

försäljning av röntgenteknisk utrustning på åtskilliga hundra miljoner dollar. GE's medicinsk-tekniska division ingår som en enhet inom affärsområdet tekniska system och material, som i sin tur utgör ett av flera affärsområden. Koncernens totala omsättning har stigit till över 20 miljarder dollar. (2)

Siemens och Philips, de två stora europeiska företagen, hade p g a små hemmamarknader tidigt satsat på internationell marknadsföring, även om de hade sina främsta marknader i Europa. Samtidigt dominerade Siemens nästan totalt i Västtyskland. Bägge företagen hade utvecklats till två giganter med en omsättning för Siemens på cirka 9 miljarder DM med en 8%-ig andel eller cirka 1 miljard DM för medicinsk-tekniska system. Företagsgruppen hade vid samma tidpunkt totalt över 200.000 anställda. Philips hade samtidigt en omsättning på cirka 30 miljarder gulden med en motsvarande andel för medicinsk-tekniska system som Siemens. Totalt fanns inom Philipskoncernen cirka 330.000 anställda i slutet av 1970-talet. (3)

Philips, som bildades 1891, är ett av världens största företag inom de elektrotekniska och elektroniska områdena. I början av 1980-talet finns cirka 385.000 anställda och företagsgruppen omsatte mer än 30 miljarder gulden. Medicinska system ingår som en av 14 produktdivisioner inom bl a video, konsumentprodukter, elektroniska komponenter och material, telekommunikationer, etc.

Philips startade eget forskningslaboratorium 1914. Företaget växte till en stor tillverkare av glödlampor under 1910-talet, 1918 började man tillverka röntgenrör och radiorör. Tidigt satsade Philips på den internationella marknaden och i slutet av 1920-talet fanns Philipsorganisationer i 24 länder. (4)

I Frankrike fanns röntgenföretaget **CGR**, ett vid slutet av 60-talet klart mindre företag än idag men med en snabb expansion som tog stöd i en skyddad hemmamarknad. Företaget startades i början av 1900-talet, gick i början av 1930-talet ihop med ett par företag och kom att bilda det nuvarande namnet *Companie General Radiologie*. Företaget var i huvudsak familjeägt fram till 1960-talet, då man internationaliserades via köp av fabriker i Tyskland, Italien, Belgien och Spanien. Westinghouse's medicinska division köptes 1970 och därmed kom CGR att etableras i USA. CGR tillverkar alla former av traditionella röntgenprodukter såväl som nuclear teknik och utrustning för strålterapi.

Sedan början av 1900-talet finns också ett par stora japanska röntgenföretag, bl a Toshiba, Hitachi och Shimadzu. De är liksom GE, Philips och Siemens mycket stora företagsgrupper med omfattande verksamhet inom elektroteknik och elektronik, både med industri och konsumentprodukter.

Toshiba har idag nästan 100.000 anställda och omsatte 1979 cirka 6,2 miljarder dollar. Den medicinsk-tekniska sidan tar sitt ursprung i produktion av Japans första röntgenrör inom företaget för mer än 60 år sedan. Idag har företaget omfattande verksamhet inom alla de stora diagnosteknikerna röntgen, isotop och ultraljud. (5)

Mot slutet av 60-talet började General Electric bli mer aktivt och köpte bl a upp ett företag i Belgien som tillverkade röntgenstativ. Picker gick delvis åt motsatt håll. Tidigare var de relativt stora i Europa, men drog sig successivt tillbaka och koncentrerade sig än mer på Nordamerika.

Under perioden fanns ekonomiska resurser till att bygga ut sjukvården. På kontinenten hade man kvarvarande effekter av andra världskriget, som medförde stora satsningar på nya sjukhus. Företagen levde gott på att tillverka och marknadsföra traditionell röntgenutrustning för lungröntgen, olika former av kärlröntgen och undersökning av buken med hjälp av genomlysning.

Under 60-talet uppfattade europeisk röntgenindustri de amerikanska röntgenföretagen som konservativa, som reagerade sent på nyheter. De satsade relativt lite på automatisering av röntgenutrustningen. Siemens och Philips ägnade stora resurser till att förenkla arbetet för röntgenassistenterna i form av automatiserad inställning av diverse utrustning. Man syftade till att avlasta assistenterna besväret med svårartade inställningsmanövrar. Den amerikanska röntgenindustrin inriktade sig i stället på enklare och billigare utrustning, där assistenternas främsta uppgift var att reglera och ställa in utrustningen, vilket ofta krävde utbildning och träning. Siemens och Philips hade i USA en klang av att sälja utrustning i lyxutförande med pris i det övre skiktet.

I Sverige präglades marknaden av en uppdelning mellan Siemens och Philips, där till viss del särskilda preferenser utbildats för respektive företag på olika sjukhus.

Några utvecklingsriktningar inom röntgenindustrin kring 70-talets början

För de flesta röntgenföretag innebar 1960-talet en koncentration på att producera och att sälja sitt traditionella röntgenprogram. Branschen var inne i en högkonjunktur och det var lätt för läkare att få pengar till nyinvesteringar. Nya utrymmen skapades för företagen att expandera, vilket till största delen skedde inom ramen för de givna teknikerna. Man arbetade på förbättringar och var bl a intresserade av att ta fram bättre och effektivare kringutrustning.

Inom Siemens arbetade man bl a på nya magasinstekniker för att kunna eliminera kassetter. Genom ny teknik hoppades man kunna undvika att packa film en och en i kassetter så att röntgenassistenterna därmed slapp byta kassett efter varje exponering. Detta var ett utvecklingsarbete som pågick under hela 70-talet och som totalt tog betydande resurser i anspråk.

Siemens satsade också starkt på angiografi och befäste här sin ledande position. Man lanserade nya takhängda stativ för skall- och skelettröntgen som kallades Orbix och ett nytt barnundersökningsstativ.

Vid 70-talets början lanserade Philips röntgengeneratorer som byggde på modultänkande. Dessa gav möjligheter till många varianter utan att man behövde gå upp i pris. Dessa nya generatorer visades i Sverige på den medicinska riksstämman 1972. Man tog också fram en ny och kraftfull röntgen-generator som i betydande grad var automatisk. Den kallades Optimus M 200. Den användes för att få en bättre anpassning av generatorer för angiografiska undersökningar. Under 70-talet hade Philips successivt framgång med denna.

Andra utvecklingssteg innebar moderniserade och i stor omfattning omkonstruerade fällbara röntgenstativ. Philips visade ett sådant på en världsutställning i Madrid 1973 och för den nordiska marknaden på en kongress 1974. Samtidigt arbetade man ständigt på utveckling av bättre röntgenrör. Det kom också nya generationer av bildförstärkare. Philips hade i början av 60-talet utvecklat ett

TV-kamerarör vid namn Plumbicon som bl a såldes till Siemens och CGR. Man arbetade på att öka upplösningen i bilden i omvandlingen av fotoner och lyckades i bilden förbättra den med en faktor 2. Det medförde att småbildsfotograferingen kom i ett mycket bättre läge.

I mitten av 70-talet satsade man inom GE på en mikroprocessstyrd generator. Denna skulle göra det möjligt för röntgenassistenten att slippa fundera på hur hon skall ställa in apparaturen. Hon behöver enbart trycka på ett antal knappar som direkt visar på området är ett barn, en lunga eller kanske ett huvud som skall undersökas. Tekniken ger direkt den optimala inställningen. Datorer sköter om inställning av t ex voltstyrkan. Assistenten har endast att mata in patientdata plus typ av kassett som skall användas. Tekniken lanserades av GE 1976 och motsvarande system av övriga firmor omkring 1980.

En annan viktig faktor på utvecklingsstadiet var datorer för dosplanering vid onkologisk klinik. Dessa gjorde det möjligt att räkna fram dosmängder med hjälp av datorn. Arbetet med denna uppfinning startades långt innan datortomografin, men presenterades först i början av 70-talet.

Även om de huvudsakliga utvecklingssatsningarna skedde inom ramen för de traditionella röntgenteknikerna fanns exempel på nya inriktningar. Ett projekt inom Siemens syftade till att få fram en kamera för gammaisotopteknik. Under tidigt 60-tal hade det amerikanska, i huvudsak, läkemedelsföretaget Searle tagit fram en gammakamera och i stort sett varit ensamma på marknaden fram till omkring 1970. Tekniken hade utvecklats positivt och man såg en stadig marknadstillväxt på ca 10-15% per år. Ett par av de traditionella röntgenföretagen satsade på egen utrustning. Siemens var ett av dessa och fick fram en gammakamera som hade tagit stora resurser i anspråk. Produkten bedömdes vara fin, men lades ned då man inte fick ut det pris som fordrades för lönsamhet. Amerikanska tillverkare hade under utvecklingsarbetet konstruerat kameror med annan teknik. Dessa hade jämförbara data och kunde säljas till ett billigare pris än vad Siemens krävde för lönsamhet. Ohio Nuclear i USA var ett företag som tillsammans med Searle låg långt framme. Siemens lade någon gång 1973-1974 ned detta projekt, och gick över till att på licensbasis sälja Ohio Nuclears program.

5. DATORTOMOGRAFI, TEKNIK OCH ANVÄNDNING

Föreliggande kapitel ger en teknisk bakgrund till den följande beskrivningen av datortomografins historiska utvecklingsförlopp. Beskrivningen skall ge svar på frågor som:

- o Vad är en datortomografi?
- o Hur fungerar den?
- o Vilka medicinsk-tekniska bidrag ger den?

En ny röntgenteknik presenteras

Den röntgenteknik som senare skulle benämnas datortomografi, förkortad till CT eller CAT, efter dess engelska beteckningar Computerized Tomography eller Computer Axial (Aided) Tomography, offentliggjordes för en större krets röntgenologer vid ett möte inom den engelska radiologsammanslutningen våren 1972. Två av de ledande personerna i utvecklingsarbetet, ingenjören Godfrey Hounsfield och neuroradiologen James Ambrose, presenterade ett papper de gemensamt författat och som sammanfattade de 200 första patientundersökningarna med datortomografi som utförts vid Atkinson Morley's Hospital i Wimbledon utanför London.

Den nya tekniken kom som en fullständig överraskning. Englands då ledande radiolog, James Bull, var vid tillfället i Spanien och hade ingen aning om mötets betydelse. Nyheten om den nya tekniken spred sig mycket snabbt i den internationella röntgenvärlden och inom någon månad var den ett allmänt samtalsämne.

Vad var då det nya och så revolutionerande med datortomografi i relation till tidigare tekniker?

En teknisk bakgrundsbeskrivning

Bildframställningen inom röntgendiagnostik har generellt använt metoder som ger en tvådimensionell avbildning av ett tredimensionellt objekt, kroppen. Många framsteg har gjorts inom bildframställning genom att öka bildernas upplösning och kontrast bl a genom att korta ned exponeringstiden. Emellertid har de flesta av dessa förbättringar varit riktade mot den tvådimensionella aspekten av bildframställning med resultatet att den tredje dimensionen, djupet, aldrig framträder på riktigt sätt.

Den konventionella metoden att bestämma strukturernas djup i kroppen har varit att ta ett flertal bilder från olika rätvinkliga håll. Det har sedan lämnats till granskaren att visuellt sortera ut den tredimensionella aspekten av objektet.

En annan metod är att använda en av de många tomografiteknikerna (snittbilder) som utvecklats under de senaste 50 åren. Stereotekniker kan också användas för att lösa detta problem.

Även om konventionell tomografi har gett och fortfarande ger betydande bidrag, finns det några väsentliga faktorer som begränsar dess användning inom röntgendiagnostik. (1)

- o Graden av oskärpa ökas i plan som ligger över eller under fokuspunkten.
- o Kontrasten är begränsad, speciellt då man använder komplex tomografi, dvs då röntgenstrålningen har stora ingångsvinklar.
- o Man får en hög grad av spridd strålning.
- o Man får i vissa fall artefaktorer, dvs störningar i bilden.

Datortomografin har inte den konventionella tomografins fyra nackdelar, även om artefaktorer kan uppkomma, som i så fall i huvudsak är orsakade av patientrörelser.

Med datortomografi kan man framställa röntgenbilder av bestämda tvärsnittsskivor av kroppen på samma sätt som man skär ut en brödskiva ur ett stycke bröd. Med konventionell tomografi kan detta bara ske med stora störningar från andra delar av kroppen, vilket gett metoden relativt begränsat värde.

Datortomografin bygger, liksom den konventionella röntgentekniken, på att olika vävnader och strukturer absorberar olika mycket energi från röntgenstrålningen. Ju tätare en struktur är, desto mer energi absorberar den. Bilden blir ljusare ju mindre röntgenstrålning som når filmen eller någon annan mottagare. Ben och metall, med hög täthet, avbildas vitt, medan luft med lägre täthet, avbildas mörkt. (2)

En datortomograf består av:

- o Ett patientbord.
- o En avsökningseenhet, scanner, som innehåller röntgenrör med bländare samt detektorsystem, dvs den enhet som samlar upp energin från röntgenstrålningen sedan den passerat genom kroppen. Den bestämmer hur stor energi som fortfarande finns i strålningen.
- o En röntgengenerator.
- o En dator, som samlar upp, lagrar och bearbetar informationen från detektorn.
- o En manöverpanel.
- o En visningsenhet, som har en bildskärm av samma typ som finns i teveapparater, på vilken den rekonstruktion som datorn producerat kan visas.

I stället för att som vid konventionell röntgentomografi registrera bilden på fotografisk film använder man sig vid datortomografi av strålningsdetektorer, datorer och komplicerad elektronik.

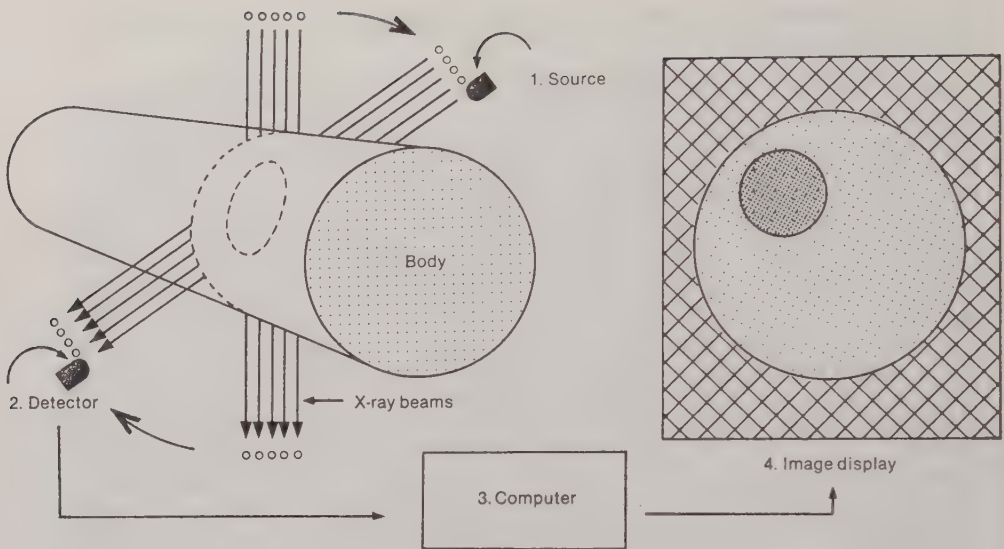
Scannern är den del i vilken patienten undersöks och som motsvarar röntgenstativet vid konventionell röntgen. Den har närmast formen av en stor låda, med ett hål i vilket man kan skjuta in ett undersökningsbord med patienten, så att

aktuellt undersökningsområde kommer i rätt förhållande till scannern. Apparaten tar snitt på cirka 2-15 mm i tjocklek. (3)

Röntgenröret utsänder ett väldefinierat strålnippe genom en skiva i patienten. Strålarna absorberas sedan av en eller vanligen flera detektorer på motsatta sidan, dvs av en mottagarenhet som omvandlar de röntgenstrålar som passerat patienten till mätsignaler avsedda för datorn. Genom en successiv förflyttning av röntgenrör och detektorer avsökes hela skivan, samtidigt som detektorerna mäter röntgenstrålarnas energiförlust (attenuering) i olika delar av patienten. Strålningen minskar således genom spridning och absorption i ämnet den passerar. Olika ämnen har olika attenuering vilket uttrycks genom ämnens attenueringskoefficienter. Utifrån absorptionsmätningar beräknas attenueringskoefficienterna. Mätdata lagras sedan i datorsystemet. Scannern vrids ett litet stycke mellan varje avsökning. En fullständig avsökningscykel omfattar ett stort antal avsökningar och vridningen uppgår till minst ett halvt varv. De olika mätvärdena lagras i datorn på så sätt att alla värden för en detektor representerar en projektion av skivan i strålriktningen. Sammanlagt uppgår antalet projektioner till några hundra. Datorn har att med dessa som utgångspunkt beräkna en bild av skivans attenuering och arbetar med minnesceller uppbyggda i en tvådimensionell matris. Denna kan innehålla 160 x 160 eller 320 x 320 celler eller ännu fler. Matrisens celler motsvarar ett volymentelement i patienten. En bild rekonstrueras på så sätt att varje volymentelements attenuering beräknas och lagras i motsvarande cell.

Visningsenheten består av en bildskärm, vanligen en tv-monitor. Bildmatrisen i datorns minne kan här visas som en bild bestående av små rutor, en för varje minnescell, vars ljusintensitet står i relation till det rekonstruerade attenueringsvärdet i cellen. Läkaren kan i bildskärmen studera bilden på olika sätt. Han kan bestämma det attenueringsomfång han vill titta på och på så sätt bestämma ett högsta och lägsta värde för ljusintensitet. Vid stort omfång på attenueringsområdet ges en bild liknande en vanlig röntgenbild med låg kontrast, medan vid litet attenueringsomfång man får en hög kontrastupplösning i bilden och kan iaktta små differenser. Det går också att variera mellan höga resp låga kontrastområden. (4)

I figur 1 återges schematiskt ett datortomografiskt system.



Figur 1: Schematisk återgivning av ett datortomografisystem. (Källa: Office of Technology Assessment, Policy Implications of the Computed Tomography (CT) scanner, 1978, Washington, sid 16).

Olika generationstyper av datortomografi

Datortomografin har utvecklats mycket starkt. Idag brukar man skilja på fyra generationer (5).

Den **första** generationen, som har en vattensäck som omger patientens huvud, använder sig av endast en smal röntgenstråle och en röntgendetektor. Man får på så sätt endast en projektion per förflyttning, vilket medför en total avsökningstid på 3,5-6 min per snitt.

Den **andra** generationen datortomografer har ökat strålnippets bredd och använder flera detektorer. I detta fall registrerar varje detektor en del av strålnippet från röntgenröret. Man får lika många projektioner som antalet detektorer vid varje förflyttning. Man kan därmed reducera antalet förflyttningar och öka vridningen mellan varje sådan. Därmed sänks avsökningstiden per snitt till 10-20 sek.

I en **tredje** generation är antalet detektorer så stort, att hela tvärsnittskivan i patienten blir täckt av röntgenstrålning. Detta betyder att detektorerna simultant kan registrera en projektion av skivan av divergent strålriktning. Man behöver då ingen förflyttning utan samtliga projektioner kan upptas under det att ett stort antal detektorer och röntgenrör roterar runt patienten. Denna

teknik ställer krav på mekaniskt mindre komplicerad konstruktion och ger avsevärt kortare exponeringstider, cirka 2-5 sek per snitt, genom att man undviker translationsrörelser. Detektorerna är oftast gasdetektorer av xenontyp. De består då av en kammare fylld med xenongas. När en röntgenstråle träffar xenon-kammaren, bildas joner. De strömmar jonerna ger upphov till mäts och informationen lagras i datorn.

I en **fjärde** generation använder man sig av en fast ring av detektorer. Patienten finns i ringens mitt och endast röntgenröret roterar runt patienten. Detta system ger en ännu detaljrikare bild och är mindre känsligt för felaktigheter i detektorsystemet. Exponeringstiden per snitt är cirka 2-10 sek.

Undersökning med datortomografi

Ett röntgenlaboratorium för datortomografi består vanligen av ett flertal rum. Undersökningsenheten med scanner, röntgenkälla, detektorer och undersökningsbord finns i ett rum. Dator, visningsenhet och manöverutrustning finns i ett eller eventuellt flera rum. Ofta finns ett särskilt granskningsrum, som i huvudsak används av röntgenläkarna för diagnostisering av genomförda undersökningar. Här finns en särskild visningsenhet, som inte är kopplad till eventuellt pågående undersökningar.

Vid den datortomografiska undersökningen placeras patienten på ett särskilt undersökningsbord, som skjuts in i scannern. Efter att röntgenassistenten ställt in apparaturen, aktiveras scannern. Patienten måste hålla sig stilla och får vid undersökning av kroppsorgan inte andas under själva avsökningen. Detta vållar för de flesta patienter inga problem. I vissa fall måste dock undersökningarna göras under narkos, t ex för patienter med svåra smärtor, hög grad av oro eller vid barn, som inte kan ligga stilla.

De första datortomograferna, som var avsedda enbart för skallundersökningar, behövde cirka 5 min för att avsöka ett snitt, medan moderna tredje/fjärde generationstomografer exponerar ett snitt på ett par sekunder. Till en början behövde datorn upp till 2,5 min för att bearbeta och presentera informationen på en teveskärm. Idag presenteras bild direkt efter det avsökningen är klar eller mycket kort därefter. Återgivningen av den rekonstruerade bilden görs på en teveskärm, där läkaren kan göra en första bedömning och bestämma hur de fortsatta snitten skall tas. Datorn kan också göra permanenta bilder av snitten på band, papper eller en magnetisk disk.

För att täcka det intressanta undersökningsområdet måste oftast ett större antal snitt tas. Varje snitt är cirka 1 cm tjockt. En datortomografisk undersökning varierar tidsmässigt från cirka 15 minuter upp till ett par timmar. I det senare fallet handlar det då om undersökning under narkos eller om t ex avancerad planering av strålbehandling med hjälp av datortomografi.

I flertalet fall ges patienten någon form av kontrast. Ibland ges kontrasten i form av dryck, i andra fall genom en spruta i armen, eventuellt via en kanyl i armen. I vissa fall, ofta i forskningssyfte, tas samma snitt först utan och sedan med kontrast.

Vid skalltomografer sköts det direkta undersökningsarbetet av röntgenassistenter, dvs av personal med motsvarande kompetens och befogenheter som en

sjuksköterska. Röntgenläkarens främsta uppgift är att bestämma hur undersökningen skall läggas upp, dvs hur och vilka snitt som skall tas, och sedan ställa diagnos.

Vid kroppstomografi varierar röntgenläkarens uppgift mellan olika kliniker. I vissa fall sköts det direkta undersökningsarbetet av röntgenassistenterna självständigt i likhet med vid skallundersökningar. I andra fall finns en röntgenläkare som på heltid tjänstgör vid datortomografin och därmed tar mera aktiv del i undersökningsarbetet. Den senare formen har blivit mer vanlig.

Datortomografins bidrag (6)

I huvudsak ger datortomografin två väsentliga fördelar i förhållande till konventionell teknik.

- o Den ger ett anatomiskt riktigare perspektiv av människokroppen genom sina tvärsnittsbilder. De flesta organ är utsträckta i kroppens längdaxel. Tvärsnitt genom kroppen ger därför ofta en mycket god anatomisk överblick av de olika organens läge i förhållande till varandra och av deras storlek. Datortomografin medför därför förutsättningar för att ge läkaren en djupare anatomisk kunskap. Likaså ges en mycket god överblick av formförändringar samt hur olika organ är relaterade till kroppsväggarna. En vanlig röntgenbild mäter röntgenstrålningens totala energiminskning, medan en datortomografisk bild blir representativ för olika organs specifika täthet. Man kan på så sätt dra säkrare slutsatser om strukturer i de avbildade organen.
- o Den andra fördelen med datortomografi är att den kan skilja ut kontrastförändringar på en halv procents finhet genom en förmåga att mäta små absorptionsskillnader. Detta är upp till 20 ggr högre känslighet än för vanlig röntgen. På så sätt är det ofta möjligt att direkt på röntgenbilden se t ex tumörer, cystor, dottersvulster och blödningar. Vanlig röntgenundersökning visar normalt inte sådana strukturer utan hjälp av invasiva tekniker. Dessa är dyrbara och medför både obehag och vissa risker för patienten. Med datortomografi kan man få fram vissa kvantitativa värden på attenueringsskillnader i vävnaderna. Genom den höga kontrastkänsligheten finns möjligheter att använda kontrastmedel på ett nytt sätt. Man kan förstärka kontrastdifferenserna mellan olika mjukdelar genom att ge kontrastmedel i organ som tidigare vanligen röntgenteknik inte hade förmåga att skilja ut, då koncentrationen av kontrast var för låg. Man kan t ex nu använda sig av gallblåsekontrast vid studier av levern.

Datortomografi för skallen

De tidigaste och främsta bidragen gav datortomografen för undersökning av **skallen**. För diagnostik av sjukdomstillstånd i kraniet har man tidigare saknat en mellangrupp av metoder. Å ena sidan hade man enkel skallröntgen som i de flesta fall gav liten information och å andra sidan de högt specialiserade kontrastundersökningarna, encefalografi och cerebral angiografi, dvs luftskalle och angiografi. Till dessa kom under 60-talet undersökning med radioaktiva isotoper, scintigrافي, en metod som ofta lämnar så begränsad information att den inte ensam kan ligga till grund för kliniska beslut.

Datortomografi för kroppen

Till skillnad från vid skallen fanns för **kroppen** ett stort antal väl etablerade undersökningsmetoder från enkel översiktsröntgen till högt specialiserade kontrastundersökningar. Dessa utgör en dominerande del av en väl fungerande sjukvårdsrutin. Denna typ av röntgenundersökningar ger oftast också tillräcklig information för kliniskt bruk. De är inte heller förknippade med så stora risker som är fallet med invasiva metoder för hjärnan.

Datortomografin är därför i sin användning för helkroppsbruk mer differentierad. Man vet emellertid ett antal organ som idag bara med svårighet eller inte alls kan undersökas med konventionell röntgenteknik och där datortomografin kan ge väsentliga bidrag. Bland dessa finns lever, mjälte och bukspottskörtel.

6. EN IDÉ, DESS BAKGRUND OCH UPPHOVSMÄN

Detta kapitel handlar om hur datortomografins skapare Hounsfield får idén till tekniken och hur EMI, med stöd av brittiska röntgenläkare, beslutar sig för att bygga en första prototyp.

En innovatör och hans idé om en ny röntgenteknik

Godfrey Newbold Hounsfield var 1967, såväl som 1981, en forskningsingenjör inom elektronisk fysik som arbetade inom elektronikföretaget EMIs Central Research Laboratories i Hayes, Middlesex, en halvtimmes tågresa från centrala London. Han hade omkring 1967 fått en idé om att samla röntgenstrålar med hjälp av kristaller istället för med film. Nästan ända sedan röntgenstrålningens upptäckt hade det varit känt att vissa kristaller gav ifrån sig synligt ljus när de exponerades för röntgenstrålning, men till nu hade denna egenskap inte fått någon tillämpning inom röntgendiagnostik. Hounsfield förutsåg att man genom att skicka en smal röntgenstråle genom patienten och att ha en känslig mottagare, detektor, av kristall, samt en dator för rekonstruktion, skulle det vara möjligt att bygga upp en bild i vilken gråa fält skulle beräknas med kanske 100 ggr större säkerhet än vad som var möjligt inom konventionell radiologi. Han hade i sina tankar att konstruera en apparat med vilken man skulle kunna undersöka snitt av kroppen och då förutsättningsvis huvudet, bröstet och buken.

Innan vi berättar närmare om Hounsfield och hur det gick till när han utvecklade sin idé, beskriver vi några tidigare utvecklingsansträngningar.

Några föregångare och deras idéer

Rekonstruktion av ett objekts inre struktur från dess avbildning, projektioner, är varken nytt eller speciellt revolutionerande, men har först nyligen blivit använt i medicinska tillämpningar. Gordon et al skrev 1975 om datortomografi och citerade över 1500 referenser inom de fysikaliska och medicinska vetenskaperna med anknytning till bildrekonstruktion, vilket gör denna teknik till ett relativt väl utforskat område. (1)

Utan någon vetenskap om att hans arbete skulle få betydelse för framtida röntgendiagnostik, bevisade den österrikiske matematikern Radon omkring 1917 att ett två- eller tredimensionellt objekt kunde enhetligt rekonstrueras med utgångspunkt från ett obegränsat antal av dess projektioner. (2)

I början av 20-talet uppfann den holländske radiologen Ziedses Des Plantes, tomografitekniken, där ett plan av kroppen avbildas, genom att man suddar ut omgivande delar, då röntgenkälla och bildmottagare flyttas i motsatta riktningar i plan parallella med det avbildade planet. (3)

Den förste applikationen av avbildande rekonstruktioner i röntgendiagnostik beskrevs redan 1938 av Gabriel Frank, som arbetade inom CHF Müller i Hamburg (företaget gick senare upp i Philips medicinska enhet). Han beskrev en optisk metod med backprojektioner (4) av profiler med hjälp av en cylindrisk lins. Emellertid kunde metoden aldrig ta fram bilder med bättre kvalitet än klassisk tomografi.

Principen om rekonstruktion applicerades på radioastronomi 1956 när Bracewell ville veta vilka regioner av solen som emitterade mikrovågor. Tillgängliga mikrovågsantennerna kunde endast registrera en remsa av solen och därför använde han ett antal av dessa från olika riktningar för att rekonstruera en karta över mikrovågsemissionen. Delvis likartade tekniker utvecklades för elektronmikroskopi av extremt små och komplexa biologiska prov. (5)

Vid tidigt 1960-tal gick många forskare in på området rekonstruktiv tomografi. En av de första var William Oldendorf, en neurolog från Los Angeles, som beskrev och patenterade en metod med vilken ett tvärgående snitt med olika täthetsskillnader i kraniet kunde framställas. Oldendorf beskrivs som en djupt engagerad kliniker som var bekymrad över hasarden, riskerna och de dåliga resultaten vid angiografi och luftskalleundersökningar. Han försökte under sent 1950-tal få fram en bättre och mindre dramatisk metod. Han arbetade fram en "datortomografisk" metod och byggde en modell i vilken strålen från en gammakälla mötte järn- och aluminiumspik på sin väg till en detektor. Spiken var monterade på ett slags vändskiva (vilken teoretiskt skulle vara patientens hjärna), och svepte i ett plan av gammastrålen. Hela konstruktionen flyttades till nästa plan på spår av en modelljärnväg. Oldendorf fann snabbt ut att radiologerna inte var intresserade av denna totala nyhet och vände sig istället till en grupp som sysslade med nuklear medicin. Han visade sin modell för denna, men även här visades ett totalt ointresse. Samtidigt fick de höra att en röntgendiagnostisk maskin som skulle bygga på denna tomografteknik skulle kosta omkring 250.000 dollar att bygga. Detta blev slutet på denna idé och man sa att ingen kommer att köpa en maskin till ett sådant pris oavsett vad den kan göra. (6)

En annan forskare var A M Cormack, som 1963 arbetade vid Tufts University med en metod avsedd att bestämma variabel röntgenabsorptionskoefficient i två dimensioner, där man sänder en smal stråle över ett objekt och mäter absorptionen i objektet. Man använder sig av ett tal som relateras till exempelvis vatten. Detta var första gången som matematisk teori om rekonstruktioner blev applicerade på ett riktigt sätt inom radiologin. Cormack kunde bestämma attenueringskoefficienten för aluminium och ekträ, komponenterna i hans experimentmodell. (7)

Cormack kom i på detta område närmast av en händelse. Han föddes i Sydafrika, men är nu amerikansk medborgare. Cormack föreläste i fysik vid Kapstadens universitet 1955 när fysikern som ledde ett radioisotopprogram vid ett sjukhus i Kapstaden bad Cormack om hjälp. Sydafrikansk lag krävde en kvalificerad fysiker till att administrera ett sådant program och sjukhuset frågade Cormack om han ville ta ansvar för programmet. Han var den ende som förstod nuklearfysik och han ägnade ca 1,5 dag per vecka till rådgivning åt sjukhusets administration för isotopprogrammet. I detta arbete blev det uppenbart för honom att matematiska teorier var av stor betydelse för diagnostiska syften. Under ett flertal år arbetade Cormack med att ta fram fundamentala ekvationer. Sitt arbete publicerade han i vetenskapliga fysiktidsskrifter i september 1963 och oktober 1964. (5) Dessa väckte föga intresse hos fysiker och radiologer. Under senare delen av 50-talet flyttade Cormack till USA och blev så småningom professor vid Tufts University.

Tillverkare av datortomografer blev först medvetna om Cormacks arbeten flera år senare. Man beskrev forskningen som betydelsefull, men menade att

anledningen till att den inte fått praktisk betydelse berodde på storleken på de datorer som skulle behövts under tidigt 60-tal. Cormack själv menade att detta inte hade någon sanning. Under sitt forskningsarbete sköttes datorarbetet av en ung assistent i syfte att han skulle få utbildning i skötsel av datorer.

Cormack och assistenten byggde en aluminiummodell på vilken Cormacks koncept framgångsrikt testades och sedan rapporterades i den andra publicerade artikeln. Totala stöd för projektet var 900 dollar, som gick åt till att betala assistentens lön. Dessutom betalades modellen av Tufts-universitetet. (6)

Under sitt utvecklingsarbete hade Cormack liten kontakt med medicinare och radiologer vid den medicinska kliniken på Tufts University. Ett undantag var en neuroradiolog som då och då experimenterade med isotoper på uppdrag av Cormack.

Hounsfields bakgrund och första utvecklingssteg

Hounsfield, som nu är i 60-årsåldern, växte upp som den yngste av 5 syskon på faderns lantbruk i England. Fadern var verksam inom engelsk stålindustri och en nära släkting hade utvecklat en bilmotor på 20-talet och ett instrument för mätning av hållbarhet i material som gick under namnet Hounsfield tensiometer.

Tidigt under sin skoltid intresserade Hounsfield sig för elektronik och började bygga inspelningsapparater i sin egen verkstad.

Redan under andra världskriget började han föreläsa om radar och blev efter kriget successivt mer engagerad inom detta område. Han utbildade sig på det brittiska flygvapnets radarskola, där han stannade en tid som lärare.

Tiden mellan 1947 och 1951 ägnade han åt studier inom det elektriska och mekaniska området och fick därefter anställning inom EMIs centrala forskningsenhet. Till en början arbetade han med radarsystem och senare med datorer. Som projektingenjör ledde han en projektgrupp som arbetade fram den första utvecklade brittiska affärsdatorn, EMIDEC 1100. Detta ledde till forskningsarbete kring tunna filmmaterial och magnetiska lagringsmöjligheter för datoranvändning. (7)

Senare, under 1967, var Hounsfield engagerad med undersökning av tekniker för mönsteridentifikation och datalagring. Hans studier omfattade inte bara informationen i själva mönstret utan också lagringsmetoder, överföring av information från en form till en annan, och effektiviteten i olika datasystem att ta tillvara information. Det visade sig att lagring kunde göras med annan teknik än vanlig lagringsteknik som används i tv-teknik och att dessa sätt också var mer effektiva vid återvinning av information. Det blev tydligt under hans studier att samla data i stora mängder var mycket enklare än dess återvinning från lagring och att det fanns många områden där återvinningen var så ineffektiv att mycket av annars användbar data förlorades.

Ett område inom vilket detta var uppenbart gällde konventionell röntgenundersökning. En väsentlig nackdel fanns vid överförandet av ett tredimensionellt objekt till en tvådimensionell film och den relativa okänslighet hos filmen för röntgenstrålning, vilket fick till följd att en stor del information som fanns i

röntgenstrålen efter passerandet av patienten gick förlorad. Beräkningar gjorde det klart att genom scanning av objektet och genom att rekonstruera avbildningen kunde man få fram skillnader i vävnader på 0,5% i attenueringskoefficient, vilket skall jämföras med att endast skillnader större än 4% framträder på konventionell röntgen. Problemet med små variationer skulle möjligtvis kunna övervinnas genom att använda mera känsliga detektorer och en tomo-grafisk princip där man undersökte skiva för skiva av kroppen.

En person som var verksam inom EMIs medicinska division berättar om Hounsfield's forskningsarbete:

"He worked on pattern recognition systems. The idea is with a scanning head, which at that time were based on tv-principals, it should be possible for a computer to read written information. Originally this should be for the defence use. For instance to read a signal from the president of the US to fire ballistic missiles. To read the signature of, for instance, Ronald Reagan and to understand his voice so that the signature plus the voice, plus written text should be read by the computer and understood so that nobody could forge it.

The idea was passed to my division for an idea to use the systems for reading luggage labels in an airport and sorting luggage automatically or using voice to sort parcels in a post office.

Concepts of pattern recognition had many commercial uses. Documents could be read accurately. The problem is that the systems only can read certain text of a special pattern. It cannot read different writings. Change on voice, handwriting etc makes it very difficult. We worked on systems how to try to teach the machine how to read this different text and voices. Hounsfield was engaged in this work. His work was really to read loads of information, digesting it, analysing it and representing it in such a manner that you could create a summary of it.

Hounsfields work on pattern recognition was quite significant and we did make quite a number of systems. But nobody really carried it through. It was mainly financed by our internal defence budget. Very few people had the mind to think of what could come out of this. No real market research was done to see what it could be used for. Nobody realized that the big computer need for that purpose was likely to be replaced by a chip in ten years time, which in those days needed a fairly large computer, you today can make for 50\$. CRL also worked on radar for the defence sector." (8)

Redan 1965 hade Hounsfield i sitt forskningsarbete visat att de mönsteridentifikationstekniker han arbetade med hade intressanta tillämpningar, men utan dagens snabba mini- och mikrodatorer utan kommersiellt värde, då de var för dyra att exploatera. Hounsfield avslutade detta forskningsprojekt och fick ledigt under en tre-månadersperiod för att tänka över vilka områden han ville engagera sig i.

En person som länge arbetat tillsammans med Hounsfield berättar:

"The work he started with 1967 was supported by CRL general funds. It was on a method on transforming information from one form to another. How to improve the process of detection. He found out that the information that constitute a given pattern could be stored in many different forms. In grey scale on a tv-screen for example so you could have the numbers 1-10 represented by ten different levels of grey scale. He realized that the way to retrieve the information was terrible. There was no way to store it efficiently and play it back in a reliable way.

It was on one of his walks with his dog that he was thinking of a box shape. If you have a box and if there is something in it how would you set out to identify what was in it, without opening it. He realized that it depended on the shape of what was in the box and what it was made of. Somehow he thought of generating energy which pass through the box and depending on what was in the box different energy was to arrive at the opposite side.

This is where he started with gammarays. His thoughts had nothing to do with medicine at all. In his discussions with other people, the box was in fact a missile head. If you could investigate it without taking of the head you would save yourself a terrible dangerous task. Hounsfield realized that the energy you need to pass through such a material is so great that it should take years and years before it would be possible to succeed. At this time he thought about that maybe if you took a human body and passed x-rays through it you could supply this principle.

Still starting with the box he put various things in the box and got other people to put things in the box without Hounsfield knowing what. By using his bench he directed the beams through the box in a serial and passed the beams across and created the most simple read sample of simultaneous equations which he then solved by ordinary mathematics. That took him a lot of time.

He didn't concieve at the start that the idea was to measure photonnes. He realized then that that was the only thing you would get. If it was earth it would be different and if it would be the human skin it would be different again.

He realized that whatever was in the box different values could be applied to it. He therefore visualized it could have this medical application." (9)

Den engelske röntgenläkaren, James Ambrose, som arbetade nära tillsammans med Hounsfield, pekar på att han var elektroingenjör och sysslat mycket med datorer och olika slags lagringsmetoder:

"What one has to realize is that Hounsfield was or is an electronic engineer, and he had been engaged in computer development and the use of computers in a lot of things. One of the things that he was really interested in was pattern recognition and it is quite interesting that a computer physicist came to see me last year (1978). He

was working at St George's Hospital, London. He was interested in developing new techniques for measuring different volumes of tissues in the body. I showed him the CT-machine and he said that it was a supreme example of pattern recognition. This man knew nothing about CT. He was not orientated towards it at all. This is actually what Hounsfield was about in the late 60's from about 1967. He used computers in pattern recognition and this is actually where it started. I suppose Hounsfield is what we in this country call a real buffen. A buffen is a scientist, a chap that looks for problems and the way to solve them. Somebody with an inventing turn of mind. If you have a problem he will scratch his head and think about it and come up with an answer.

This is really a pattern of Hounsfield's life. In his career inside EMI I suppose he has been set all sorts of problems and he has solved them. This is why he is in his team and they put all sorts of problems to him. I think he has been mainly concerned with defence work. He was thinking about various things. He must have come up with some idea about pattern recognition and the use of computer. He wondered why this could not be applied to X-ray-work. Thinking more and more about it so the idea developed and he gradually got on to experiments." (10)

Hounsfield själv berättar om varför han sökte sig till röntgenområdet:

"I was involved and interested on a general basis on the efficiency in information material and looked for this reason on X-rays. This was not very efficient to see soft tissues. It was here that I did the mass of the work and I had no doubt that I could get the sensity to show the difference in density in a tumor and normal tissues. I knew before I had built a final machine that I was going to show what normal X-ray did not see." (11)

Övertygad om idéns bärkraft startade Hounsfield med en del matematiska beräkningar och att utveckla datormodeller för rekonstruktion av bilder. Till en början föreslogs det att man skulle göra avläsningar från alla riktningar för ett tredimensionellt objekt, men senare visade sig snitttagning mera lämpad för rekonstruktion och för diagnostisering. Detta innebar att transmissionsavläsningar (12) enbart behövde göras i ett plan. Varje strålbana kunde därför betraktas som en av många simultana ekvationer, som behövde lösas för att man skulle få fram en avbildning av planet. Att denna princip kunde fungera visades också med ett matematiskt test. Ett objekt definierades och avläsningar från alla riktningar kalkylerades och sedan gjordes processen om genom att rekonstruera avbildningen från dessa transmissionsavläsningar.

I sitt arbete med dessa modeller tog Hounsfield inte stöd i tidigare forskning inom rekonstruktiv tomografi, vilka arbeten han säger sig inte känt till.

Röntgenläkaren Ambrose berättar om att Hounsfield i sin forskning använde sig av grundläggande principer och därmed sannolikt inte kände till tidigare arbeten:

"It is anecdotal but quite true that when he originally worked out his mathematical formulations they took it to a professor of engineering. He looked at the mathematics and said, I do not understand the derivation. This was understandable, Hounsfield is not a mathematician. What he did use was actually from first principle recording to an engineer's way of looking at it. In the same way when he got to a X-ray physicist his derivations were from first principle and not in the way a physicist would have done it. So this is one of the reason why I am convinced that Hounsfield had developed the idea independantly to what other people may have thought. You can always say if somebody reads widely he is always bound to be influenced by what he reads or hears or sees, what ever the source of information might be. The Oldendorf publication was in a journal that Hounsfield was unlikely to read. Radons ideas I do not think he would have sat his eyes on, that was in an obscure publication." (13)

Efter dessa framgångar lyckades det Hounsfield att övertyga ledningen inom EMI:s forskningsenhet att satsa på ett projekt. Man beslöt att testa principen med gammastrålning, och en testbänk byggdes i en gammal svarvstol. Man använde olika plastobjekt som testmaterial och isotopämnet americium 241 som källa.

Röntgenläkaren Ambrose berättar om testbänken och betonar hur primitiv och hantverksmässig den var:

"The experiments went on and we used the mock-up like bench with an industrial mock-up tube. The pictures looked like a Heath Robbins. He was a chap, an artist, who used to make drawings of all kind of outlandish apparatus constructed of pieces of strings and wood. This was just like that. It was constructed out of spares from radiosshops and old x-ray-tubes, which were bought from somewhere. The x-ray warning light was a bulb in a milk bottle, and the milk bottle was painted red. The whole thing was surrounded by someting to protect from x-rays. This was where all the specimens where examined. Of course, the x-ray tube took it very slowly. Detector system and collection of data were of course also very slow. Putting it on to a tape and sorting it out and getting the image afterwards was very slow as well." (14)

Testbänkens utseende framgår av bild 1.

Beroende på den låga intensiteten tog det 9 dagar att producera en samling data och 2,5 timmars beräkningsarbete på en stor dator, som var programmerad i fortranspråket, för att rekonstruera avbildningen. Precisionen var fortfarande endast ca 4% och långt ifrån den teoretiska av 0,5%. Emellertid var det en stor framgång och situationen såg lovande ut och motiverade vidare arbete. Bl a såg man det nödvändigt att introducera röntgenstrålning och det visade sig att resultaten kom närmare de teoretiska möjligheterna och även om det nu endast tog en dag att ta en bild var detta fortfarande oacceptabelt långt.

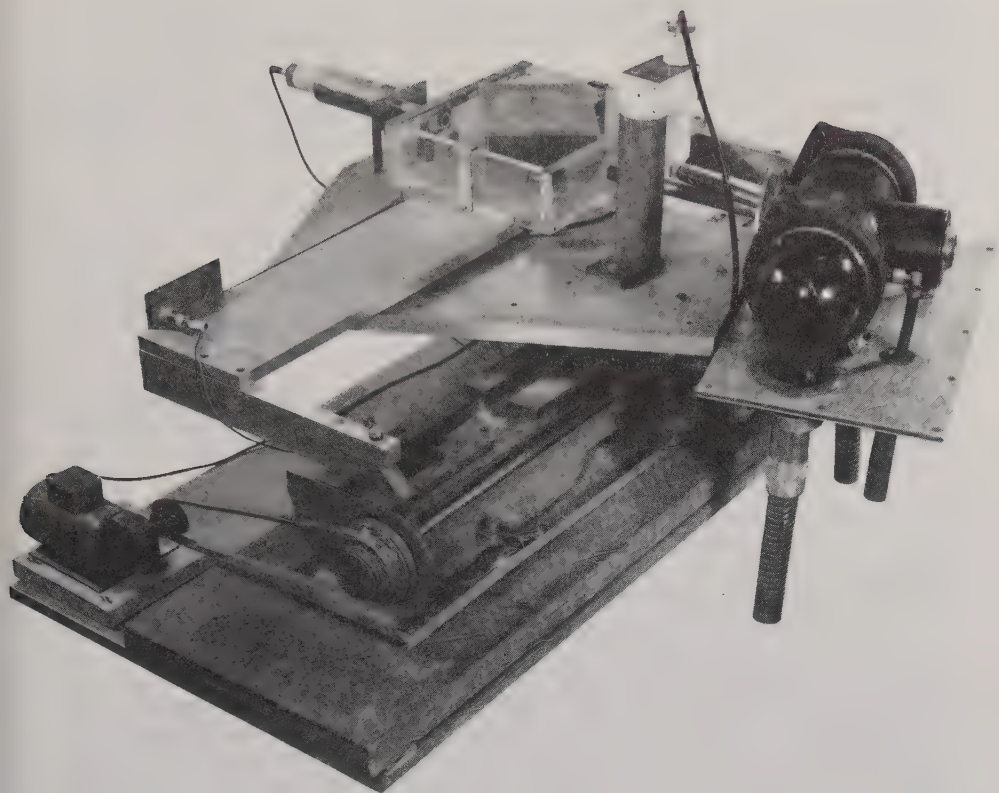


Bild 1. Hounsfields egenhändigt byggda testbänk.
(foto från EMI Med., England)

7. EMI - EN BAKGRUNDSBESKRIVNING

Innan vi fortsätter berättelsen om datortomografins utvecklingsförlopp skall vi i detta kapitel ge en närmare presentation av EMI. Vi uppehåller oss framför allt vid hur EMI kom att bli ett forskningsintensivt företag inom elektronik.

Hur EMI blir ett utvecklingsintensivt företag (1)

Historien kring datortomografins framväxt är på många sätt både intressant och överraskande. Produkten togs fram inom EMI, en organisation som vid andra halvan av 1960-talet inte hade några erfarenheter inom det medicinsk-diagnostiska området (med undantag för några mindre produkter från ett dotterbolag, FE Labs).

Företagsgruppen EMI (Electric & Musical Incorporated) bildades 1931 genom en sammanslagning av The Gramophone Company och The Columbia Graphophone Company, två sedan slutet av 1800-talet etablerade grammofonindustrier. (2)

Till stor del som ett resultat av denna företagsbildning togs inom EMI löpande fram ett antal teknologibaserade produkter, som under 1970-talets senare hälft svarade för ett par 100 miljoner pund i omsättning: produkter så olika som medicinsk-elektroniska system och TV-studios; spaningsradar och mätinstrument; automatiska maskinverktyg och brand- och inbrottssystem.

EMI bedömde under tidigt 1930-tal att utvecklingen inom betydande fritidsområden skulle kräva förbättrade och nya former för ljudupptagning och kommunikation. 1931 hade television för första gången visat sig som ett medel för masskommunikation. Samtidigt krävdes viktiga teknologiska framsteg för att göra den till en praktisk möjlighet. Detta blev ett viktigt syfte till att EMI etablerade EMI Central Research Laboratories och startade omfattande utvecklingsarbete kring elektronik, en då på barnsben stapplande vetenskap.

Under ledning av Isaac Shoenberg lyckades en forskningsgrupp inom EMI uppnå en del framgångar, som kulminerade i utvecklandet av High Definition tv-system och att BBC 1937 valde detta system i konkurrens med ett annat vid namn Baird-systemet. (3)

När andra världskriget kom två år senare, visade sig detta pionjärbete ha betydligt större betydelse än dess ursprungliga framgång hade indikerat. Framtagandet av det nya elektroniska televisionssändningssystemet hade krävt herravälde över helt nya tekniker och discipliner - såsom kortvariga processer, tänkande i delar av mikrosekunder, system inom ingenjörskonsten - vilket var avgörande för utvecklingen och appliceringen av radar. Som ett resultat blev EMI djupt involverad i alla applikationer av radarsystem för användning inom olika försvarsgrenar och utvecklade bl a ett av de första luftburna radar-systemen. Som en konsekvens åtog sig företaget att för försvarsmakten också arbeta med utveckling av styrda projektiler. EMI kom att bli ett forskningsintensivt företag och underhållnings- och fritidssektorerna hade stöd av forskningen, då de var på väg in i en snabb teknologisk förändring. Ett ökat beroende hos industrin och försvarsväsendet av nya elektroniktekniker blev grund-

stormmen till en separat enhet aktiviteter kring kapitalutrustning, som kunde motbalansera företagets konsument- och nöjesinriktade verksamhet.

Genom dotterbolaget EMI Electronics Ltd fortsatte man att utveckla radar-system och etablerade företaget som ett av de ledande i världen inom detta område.

En person inom EMI:s ledning berättar om hur företaget omvandlades från producent av radioapparater till ett avancerat elektronikföretag:

"In the pre-war days the big sector was the grammophoneside. From 1920 it was a steady development and the recordings became better. The work was mechanical. From 1925 and onwards EMI started to manufacture radio sets. Also radio grammophones, so you could combine radio sets with grammophones. In 1934 the first major work was done on TV. This was done in conjunction with the BBC at the transmission areas at Hayes. The main work shop of CRL today is the original studio that was built in those days. The other studio was Alexander Pallas on the east side of London. EMI and BBC made experimental works on the systems and sets were developed by EMI and were finally brought to the market place in 1936. So commercial TV-systems existed from 1936.

At that time the Heathrow airport was not built, but the whole area surrounding Hayes was small airfields, like Hasting, Hendon etc. In all there were 9 airfields and it was noticed when aircrafts took off the television picture was totally interrupted. And this led to concept that if the pictures being transmitted on a tv-area were interrupted this could be used the other way round to send out pictures and this led to final perfection of radar. This happened just before the war. The 1930-ies were also very bad years and there was not very much money to buy tv-sets for. In 1930 the growth of radio sets slowed down. It was a cyclical business where people bought radio sets from August to January because they wanted their winter entertainment. They didn't buy radio sets from February to July. EMI therefore bought another factory that actually made bicycles to fill the gap. But it didn't work out.

In the end of the war there was a total change. Before there had been a very small, almost non-existing defence business. Now EMI was heavily engaged for the government in defence and had a series of factories to manage for the government. The need to improve the quality of the products made that CRL was developed and they built all the original recording systems and recently developed the digital recording systems which is probably the best in the world. It is more expensive and the market is not ready to pay the price, few music listeners need perfections. With the government taking over the television broadcasting systems after the war we had no need for the studios. We had the areas put down." (4)

I överensstämmelse med de ursprungliga innovationerna inom television och radar fortsatte EMI och dess forskningsorganisation att efter andra världskriget lägga till betydande framgångar - 1950 den första brittiska affärsdatorn, ut-

vecklandet under 1960-talet av den första av en rad färgtevekamerasyttem och 1972 genom framtagandet av datortomografen, som 1975 utvidgades till användning för hela kroppen.

Utanför underhållnings- och det medicinska fältet hade EMI för industriella kunder ett brett produktprogram med många olika tillämpningar inkluderande elektroniska mätinstrument, testutrustning, automatiska maskinverktyg och under 1970-talet avancerade röststyrda datasystem under utveckling.

EMI var även en ledande specialist i brandskydds- och säkerhetssystem. Dessa brandalarsystem finns nu installerade i hotell, sjukhus, oljeborrplattformar, kontorsbyggnader, affärer och på många andra ställen. EMI var under 1970-talet Storbritanniens största leverantör av brandskydds- och säkerhetsinstallationer och koncentrerade dessa aktiviteter till dotterbolaget AFA-Minerva.

Utveckling av bättre informationsbehandlingsmetoder var ett område som för EMI:s forskning låg i fokus under 1970-talet. Gentemot en bakgrund av över tjugo års erfarenheter koncentrerades arbetet i ökad omfattning på system och utrustning för att förbättra och kostnadseffektivisera datakommunikations-system.

Ett av de mera framträdande nya bidragen på detta område var ett antal minidatorsystem, som kontrolleras enbart med den mänskliga rösten. Detta arbete stöddes av ett aktivt forskningsarbete inom enheten i samarbete mellan EMI och Threshold Technology Inc., i vilket företag EMI var aktieägare. Många av dessa system är redan i användning inom industrin - t ex vid löpande band inom biltillverkning och vid tillverkning av bildrör för TV-apparater.

EMI tvingades på ett flertal områden till ett djupt engagemang i komponent-tekniker. Företagets tidiga arbete på utveckling av TV-system och luftburna radarsystem berodde till en betydande del på att man kunde få fram vakuumrör med en kvalitet som tidigare inte uppnåtts. För att erhålla dessa komponenter, såsom kamerarör, tvingades EMI att själva utveckla och tillverka dem. Företagets framgång berodde på framsteg inom radar, TV-sändningssystem, kommunikationer och många andra områden med vetenskapliga tillämpningar och utveckling inom komponenttekniker. Inom fältet mikrovågsrör kombinerade EMI sina resurser med dem som fanns inom Varian Associates i USA och skapade därmed en av världens största organisationer inom tekniker för mikrovågsrör och komponenter inom fasta tillståndets fysik. Ett annat betydande område inom vilket EMI etablerade en ledande internationell position var tekniker kring elektronrör.

EMI:s underhållnings- och fritidssektorer

EMI:s ursprungliga verksamhet, grammofonskivor, spelade fortfarande en avgörande roll i koncernen. Under verksamhetsåret 1978/79 svarade den för cirka hälften av koncernens omsättning eller cirka 430 miljoner pund. (5) Den har historiskt också dragit in en betydande del av koncernens överskott.

EMI hade i slutet av 1970-talet världens äldsta och största etablerade organisation för grammofonskivor. Av över 1000 miljoner skivor sålda per år var en av fem producerad av ett EMI-företag. Dessa företag var spridda över hela världen, med ca 30 fabriker, distributions- och återförsäljarsystem, musikför-

läggarverksamhet och internationell försäljning av musikinstrument. Man hade över 150.000 skivtitlar i sitt program. I Nordamerika, som svarade för ca 40% av världsmarknaden, var dotterbolaget Capitol Industries-EMI ett av de ledande företagen.

EMI täckte genom lokala bolag in de viktigaste skivmarknaderna i Europa, Afrika, Indien och andra delar av Asien, i Australien och Nya Zeeland. I Japan fanns ett associerat företag, Toshiba-EMI Ltd, som var ett av de ledande företagen. Man hade också licensarrangemang i ett flertal östländer.

Gruppens omfattande globala verksamhet vilade på över 80 års erfarenheter, där det äldsta dotterbolaget, the Gramophone Company, senare EMI Records Ltd, etablerades i Storbritannien 1898 och skapade 1899 varumärket "His Master's Voice".

På 1960-talet utvecklades EMI snabbt i samband med goda finansiella resurser. Företagets huvudverksamhet, grammofonskivor, som då svarade för mer än 60% av omsättningen, drog in pengar där Beatles spelade en betydande roll, men man hade även framgång inom den seriösa musiken. Företagsledningen arbetade efter en diversifieringsstrategi, vilken avsåg hela den internationella EMI-koncernen. Man köpte bl a upp hotell- och restaurangrörelser samt fritidsanläggningar. Under 1970-talet blev EMI ett av de största och mest diversifierade underhållnings- och fritidskomplexen. Dess intresse inom dessa fält inkluderade internationell filmproduktion och distribution, drivande av biografer, teatrar, hotell, restauranger, konferenscentra och sport- och nöjesanläggningar. Till en början var verksamheten i huvudsak koncentrerad till Storbritannien, men med stöd av en stor hemmamarknad penetrerades liknande marknader i andra länder. Företagsgruppen drev filmstudios både i London och på den amerikanska västkusten, där det amerikanska företaget under 1977 och 1978 svarade för inspelning av tre storfilmer. Likaså etablerades ett nytt televisionsproduktionsföretag i USA.

Som ett resultat av EMI:s djupa och tidiga engagemang inom television, utvecklade företagsgruppen ett stort intresse inom produktion av televisionsprogram. EMI hade ett betydande intresse i Thames Television, det största oberoende TV-bolaget i Storbritannien. Detta företag hade dagliga sändningar med en publik som kunde sträcka sig upp till 14 miljoner personer. Företaget var också Storbritanniens största exportör av ITV-program och befinner sig bland världens tio största programproducenter.

EMI:s forskning

Från TV-system under 1930-talet fram till 70-talets uppfinning av en ny röntgenteknik spelade EMI:s forskning en avgörande roll. The Central Research Laboratories utförde forskning till stöd för hela företagsgruppens intressen, oberoende om det gällde skivor, underhållning och fritid eller elektronik. Dessa laboratorier sysselsatte över 250 högt kvalificerade ingenjörer och vetenskapsmän. De arbetade relativt självständigt i förhållande till de tekniska utvecklingsenheterna inom de operativa företagen.

En person inom EMI berättar om den centrala forskningsverksamheten och betonar dess karaktär av att vara inriktad på generell forskning:

"We have our central research laboratories, CRL. It is nearly unique in industry the way EMI has their laboratory arrangement. The work is not necessarily dedicated to any commercial interest of EMI. They do a lot of general research, a lot of patent work and they register that development. By no means all what they do result in EMI taking up a product. This is very unusual in a company. It is much more like a university situation. It has proved very valuable and many, many projects have come through and come to commercial use. Of course, many projects have been abandoned for various reasons. The different divisions also have their own development, normally on a more commercial viewpoint. Perhaps developing an existing product or stream lining it or whatever." (6)

Forskningen omfattade grundforskning och tillämpad forskning som kan leda till bättre metoder, material och tekniker för de internationella operativa enheterna inom EMI. Arbetet inom Central Laboratories ledde också till nya aktiviteter som expanderade och formade en ny division inom EMI. Ett brett forskningsprogram bedrevs som sträckte sig från akustik i studios till radar och från fasta tillståndets fysik till digitalsystem. Förutom arbete direkt för företagsgruppens affärsintressen, omfattade programmet också arbete på uppdrag av regeringsorgan och andra organisationer.

Verksamheten inom Central Research Laboratories var uppdelad bland specialsektioner och täckte tre huvudområden: material- och prototypprovning, audio- och video-system samt en sektion för stora systemapplikeringar. (7)

I den första av dessa var en aspekt av arbetet inriktat på halvledarmaterial för nya prototypidéer, såsom fotodioder inom fasta tillståndets fysik, mikrovågs-källor, högtrycksmätningar och detektorer för bl a brandvarning. Ett viktigt område avsåg magnetiska material och inspelningsband.

Projekt inom audio- och videosektorn täckte nya tekniker för bandinspelning och forskning på ljudinspelning och ljudupptagning omfattade nya tekniker och nya material. Inom videoteknik spände forskningen från televisionsstudioutrustning till videoupptagningar för privatbruk.

Systemgruppen arbetade inom fem sektioner, som täckte in ett flertal fält. Det inkluderade nya tekniker för brand- och inbrottsupptäckt, utställningssystem, mikrovågoscillatorer inom fasta tillståndets fysik, datasystem och automatiska övervakningssystem.

Ett viktigt område var sedan 1970-talet röntgentekniker, som följde i spåren efter dattormografen. Ett betydande arbetsprogram utfördes också på militära applikationer.

För att komplettera arbetet inom CRL etablerade EMI ett utvecklingslaboratorium för elektroniska produkter i Connecticut i USA, i syfte att erbjuda en vetenskaplig bas som stöd för företagsgruppens tillverkande och marknadsförande företag i Nordamerika. Till en början var enheten koncentrerad på att utveckla EMI:s dåvarande medicinska system, men avsågs i framtiden täcka in ett brett område av företagsgruppens tekniska aktiviteter.

Successivt efter andra världskriget utvecklade EMI en diversifierad och komplex verksamhet, som organisatoriskt delades upp i ett par produktområden. Den klart största var musiksektorn med en omsättning 1969 på ca 110 av totalt 175 milj pund. De tre andra områdena, elektronik, en fritidssektor samt television omsatte resp 40.2, 20 och 4.6 milj pund 1969. På ett totalt resultat före skatt på ca 17.5 milj pund svarade musiksektorn för ca 13 milj pund och elektroniksektorn för ca 3.7 milj pund. (8)

En person inom EMI:s företagsledning berättar om företagets diversifiering och divisionalisering under 1960-talet och om de planer som fanns inom ledningen att knyta den centrala forskningsenheten närmare den kommersiella verksamheten:

"There was one director of the board responsible for all electronic operations, commercial, industrial, defence, Dr Allaway. He was the father figure of the whole manufacturing side of the business in the 1960-ies when the defence operations were of the same size as the commercial and industrial operations. Change of chairman of the company and the appointment of John Read as key managing director made the decision being taken by the board that the mix of products was to diverse.

It was decided to split of all non-defence operation to a special commercial operation division and to concentrate more strongly on encouraging and funding the CRL to do more work closer related to commercial aspects. John Powell came to the company in December 1970 as the technical director of the main board. Two months later the separation took place and Allaway took all defence electronics and Powell had the CRL and the commercial electronic operations. Kapris became responsible for splitting it apart and became responsible for all other operations that nobody knew what to do with, both manufacturing and marketing.

The company had during the 1950-ies and 1960-ies acquired a chain of some hundred cinemas, filmstudios and a 51% of Thames Television and many other companies in commercial electronics activities. EMI had also bought out many of the recording companies.

EMI had defence factories in Australia, 36 production places in records so therefore their international business was growing very fast. In the 1960-ies they acquired a chain of hotels and restaurants. EMI became a complex of business and therefore by 1972 had a structure with a main board of director or divisional director responsible for each of these main operating areas.

Powell became group managing director responsible on the management committee. EMI earlier being involved in defence and music really diversified and massified in those years. There were times when the CRL were asked by the hotel division to show them a better way to make waffles.

There were three lines, the chairman of the company, group managing directors and executive main directors.

Powell's task was to oversee all the operations including music. All managing directors of divisions reported to him.

The situation was this in 1972. Ingham retired as director of CRL and became a consultant. Powell became deputy group managing director. The person that John Read had engaged and who had the job to split off the business of defence electronics was Kapris. He in fact said that CRL should only spend their money on sensible certain commercial successes. One has to give Powell the credit resisting this and of trying to make certain that the scanner (datortomografin, förf. anm.) moved ahead. (9)

EMI kom att dela upp elektroniksektorn på tre divisioner: försvarselektronik, industriell elektronik samt kommersiell elektronik.

Tidigare fanns inom varje produktområde ett stort antal självständiga dotterbolag. Någon mera uttalad central ledning fanns inte förrän efter omorganisationen, då det bildades ett antal operativa produktgrupper med totalt ansvar för produktområdenas totala verksamhet internationellt. Den väsentliga förändringen under 1970-talet var annars att en särskild produktgrupp skapades kring medicinsk elektronik och att den centrala forskningsenheten ytterligare befäste sin betydelse genom att bilda ett särskilt operativt område i likhet med produktgrupperna.

8. FRÅN IDÉ TILL FÄRDIG PROTOTYP

Efter att vi nu kontaktat oss med EMI skall vi i detta kapitel berätta om hur EMI beslöt att satsa på ett utvecklingsprojekt och hur en första prototyp byggdes inom EMI:s centrala forskningslaboratorium. I detta arbete spelade några engelska radiologer en viktig roll.

En innovation söker stöd

Redan i samband med experimenten i början av 1968 gick Hounsfield till ledningen för EMI:s centrala forskningsenhet och sökte stöd till vidare utvecklingsarbete. Koncernen hade vid denna tidpunkt nästan inga erfarenheter inom det medicinska området och ville få en sakkunnig bedömning av idéns potentiella medicinska tillämpningar innan några större resurser satsades på ett utvecklingsprojekt.

En direktör i EMI:s ledning kontaktade en personlig vän, professor Malrose, vid Royal Hammersmith Hospital utanför London och berättade för honom att man inom EMI:s centrala forskningslaboratorium hade en person med en idé om att producera röntgenbilder med en annan metod än vanlig röntgenfilm. De behövde någon som kunde titta på idén. Malrose förde problemet vidare till en röntgenläkare inom sjukhuset, Frank Doyle, som var villig att träffa Hounsfield och titta på hans idé.

Doyle berättar om sin första kontakt med Hounsfield och hur han blev imponerad av Hounsfields djupa övertygelse:

"They needed someone who could advise them on the matter. This was in 1968. I agreed to see doctor Hounsfield and he came along and we had a long session one afternoon, where he explained to me his idea of CT-scanning, though we didn't call it that in those days. My brief was to try to find out how good the idea was and how and if it was likely to be successful. I had to explore him as well as possible. It was not just a superficial meeting. I formed the conclusion at that time that Hounsfield knew what he was talking about and I could not fight him in the things I knew something about. I assumed he knew enough about computing because of his past work in that field. He was involved in one of the early computers in 1950. Then I had a second and a third meeting with him slightly later, I think still in 1968. Before that he pointed out at our second meeting that what EMI would be interested in was to any means find outside funding to support EMI. I suggested that he contacted Department of Health and Social Security (DHSS)."

"He really put it to me at that early first meeting that he reckoned that this machine would detect densities of tissues of as little as one per cent. That seemed to me indicate that we would see things and soft tissues that we had never seen before. To be quite honest he started to ask me questions about what was the difference in density in the tumour of the liver and a normal liver and I didn't know. That is not the sort of measurement that we had actually ever used to make before. It seemed in face of it from what one knew about the

pathology of tumours and tissues that differences in density CT probably would be sensible enough to demonstrate."

"I suppose I believed in Hounsfield's idea because I asked him everything I could know to ask and he was explaining to me the mathematics and computer side of it. That is an area where I have no special competence so the area that I had to question him on had to do with the radiophysical side of it. There was not any single issue I took up with him that he hadn't thought about and came up with an answer to. He had gone beyond X-rays and thought of the possible use of ultrasound and neutrons instead of X-rays and to his satisfaction this was feasible. Ultrasound was more complicated but neutrons he thought he could have devised and was only finally put off that because he hadn't understood or knew the ultrabiological efficiency of neutrons compared with that of ultrasound. He was actually one that quite knew what he was talking about and seemed to have absolutely no doubt in his own mind that he could look after the whole project. He obviously knew a lot of mechanical engineering and electrical engineering and had a fairly clear idea in his own mind about that side of it as well. He seemed to be someone who knew more than enough about its physics as far as I can explore and also seemed to have a grasp of all the other aspects for designing a machine like this. He had a total grasp of the whole problem as he saw it and that is how I put it on to EMI that I could not fault him in anything that he had discussed with me." (1)

Därefter tog Hounsfield sin idé och gick till DHSS och träffade där två personer inom den vetenskapliga och tekniska enheten, Cliff Gregory och Gordon Hickson. Enheten arbetade med en forsknings- och utvecklingsbudget och syftade till att finna och stödja forskningsprojekt med anknytning till hälso-vårdssektorn.

Hickson gjorde ett första besök hos EMI i Hayes och såg Hounsfields utrustning, som var mycket primitiv vid den här tidpunkten. Hickson tyckte trots allt att han kunde se att det fanns någonting i idéen och att det i princip var möjligt att få bilder med denna teknik även om han inte visste hur användbar den skulle bli.

Gregory sände Hounsfield vidare till en medicinskt orienterad person, Ewan Lennon, som 1968 var den ledande medicinske befattningshavaren inom DHSS. Han kom ursprungligen från Australien, hade en tid arbetat i Rom som röntgenläkare och velat komma till England och arbeta på något sätt. Han hamnade till slut på DHSS och förvärvade successivt goda kunskaper om radiologins ställning i Storbritannien.

När han tog del av Hounsfields idé skakade han på huvudet och sade sig inte förstå vad den här mannen var ute efter, men om vad han påstod sig kunna göra var sant borde man lyssna på honom. Han var inte säker på om han hade att göra med ett geni eller en däre och kände ett behov av hjälp i sitt arbete. Han kontaktade neuroradiologen James Ambrose vid Atkinson Morley's Hospital i Wimbledon utanför London, som han kände sedan flera år, då de hade arbetat inom neuroradiologi tillsammans, och frågade om han ville ta del av Hounsfields idéer. Ett möte ägde rum och Hounsfield tillbringade en hel eftermiddag med att förklara hur hans idé fungerade. En sjukhusfysiker som deltog i mötet

skakade på huvudet, då även han inte kunde förstå hur Hounsfield utförde sina deriveringar. (2) Man diskuterade hur små skillnader i vävnadstäthet som skulle vara möjliga att registrera och kom fram till att det enda som fanns att göra var att se om idéen fungerade på biologiska prov där täthetsskillnaderna var små.

Under mötets gång frågade Hounsfield om Ambrose's erfarenheter inom bildrekonstruktioner. Inom Ambrose's klinik hade man ända sedan 1954 sökt avbilda tumörer i hjärnan med hjälp av ultraljud. Till en början gällde det främst vanlig lineär demonstration, men utvecklades successivt mot s k B-scanning. (3)

Inspirerade av forskning som utfördes av Ian Donald i Glasgow byggde läkarna och fysikerna vid Atkinson Morley's Hospital en ultraljudsapparat i syfte att försöka presentera bilder av hjärnan.

När Hounsfield kom och presenterade sin idé hade man inom Ambrose's klinik sett de första små framstegen och lyckats ta fram några primitiva bilder som visade ventriklarnas utbredning i hjärnan, var det fanns tumörer och skillnader i täthetsgrad. Under mötet fick Hounsfield se dessa bilder och tyckte de var intressanta, men skakade samtidigt på huvudet och menade sig kunna få fram bilder av mycket högre kvalitet med hjälp av sin egen idé.

Ambrose berättar om det fortsatta händelseförloppet:

"This was at our first meeting when Hounsfield presented the idea of CT to me. I looked at him questionably and he said: 'Yes, I'm positive I can do better than that.' I said: 'If you can do better than this we are sure you have something that will revolutionize radiological technics.' We were not still convinced to that he could actually do it because at this time we had just met him and did not understand what he was doing. We didn't have the technical background at that time to know that we were actually dealing with a genius. He went away and came back after a while and said: 'I want some biological material.' Between Hounsfield and ourselves we managed to borrow and steal various bits of pieces which he took away. Some of them were in bottles and one of the bottles' specimen has actually become famous because it was a tumour. The scan that he made, a very crude scan, as the bottle of course interfered with it, but we could very clearly see the white matter represented and so was the tumour. More dramatic than that were the white spots on the surface of the tumour. They were very clearly recognized, although it was a very crude picture. That was the beginning. What Hounsfield had done in the meantime to produce these pictures was that he had gone away from his americium source (4) which was too slow. The intensity of radiation was too low and it took too long. They had got small industrial X-ray tubes and had set it up on the same bench as they had used all the time. He had examined the biological specimen using this X-ray source, which was a little bit faster but the result was still a crude image. Nevertheless an image far in excess of our expectations. But not of his, because he had a very good idea of what he was going to get. Certainly far in excess what we had expected, being used to ultrasound imaging and radionuclide imaging which provided no anatomical detail. He knew

at last, here was something that promised to give us anatomical details in its imaging." (5)

En stödkommitté bildas

Detta var början och så uppmuntrande att DHSS i början av 1969 bildade en kommitté, som bestod av ett flertal personer. Den ledande fysikern var vid denna tid inte Gregory, som hade pensionerats, utan Norman Stark. I kommittén ingick också Ewan Lennon, Gordon Hickson och de tre radiologerna James Ambrose, Frank Doyle och Louis Kreel. Den senare var verksam vid Northwick Park Hospital utanför London och personlig vän till Ewan Lennon. Dessutom deltog två ytterligare fysiker. Kommittén hade till uppgift att utvärdera de resultat som kom fram vid Hounsfields experiment.

En särskild liten grupp utgjordes av de tre radiologerna och Ewan Lennon. Dessa hade ett eller två möten på DHSS och ett eller två hos EMI i Hayes och beslöt genast att stödja Hounsfield i hans experiment. De bistod främst med biologiskt material som kunde ligga till grund för experimenten och utvärderade sedan resultaten ur medicinsk synvinkel.

Kreel berättar om hur han fick kontakt med DHSS och det starka intryck som själva idén gav:

"Just out of the blue around 1969 I got a phone-call. I knew Lennon before. He said to me: 'There is something quite big and important but before I tell you anything about it you must swear you will not mention this to anybody ever until we allow you to mention it.' I said: 'That is no problem.' I am not one of those people who gossips very much. Once I had said that he said: 'I want you to come to a meeting.' I went along. That was the first time I met doctor Hounsfield and he told us how he thought the system should work. The first impression I got was that this was an extremely exciting possibility in radiology. Extremely exciting. It was the idea that made the impression. I think if I had listened to Hounsfield and thought about him as a personality I would have made a different assessment. I was concerned only with the idea and it seemed to me to be a very reasonable idea and it should really work. I did not understand it properly but I got enough out of what Hounsfield said to believe in it." (6)

Ambrose var uppenbarligen intresserad av hjärnan och försåg Hounsfield med död hjärnvävnad. Kreel var i huvudsak intresserad av bukorgan och skaffade undersökningsmaterial från slakterier. Han skar upp ett flertal grisar och plockade ut organ av intresse. Med sin bils bagageutrymme fullt med gris-huvuden, grishjärnor och diverse inre organ åkte han till EMI i Hayes. Doyle hade ett speciellt intresse av benvävnader och skaffade lämpligt provmaterial.

I januari 1970 hade man inom DHSS ett möte med kommittén, där de tre radiologerna presenterade varsin skriftlig rapport över resultaten från experimenten.

Det hade visat sig redan nu att metoden kunde skilja fett från andra kroppsvävnader och luft från ben. Metoden visade sig vara användbar vid undersökning av vissa delar av lever och bukspottskörtel. Man förutsåg att undersökningstiden måste sänkas för att reducera rörelser i dessa organ.

Ambrose förde fram att i hjärnan kunde vit materia skiljas från grå. Han såg flera applikationer inom neuroradiologin för en metod som kunde skilja ut vävnader i hjärnan och göra ventriklarna synliga.

Doyle hävdade att ett system som kunde upptäcka täthetsskillnader på en procent erbjöd möjligheter att diagnostisera sjukliga förändringar i ben som tidigare inte varit möjligt. Han såg främst idén som ett precisionsinstrument som inte skulle bli första undersökningsmetod för benvävnader.

Under detta möte fanns det mycket stort intresse hos hela kommittén och alla kände starkt för en vidareutveckling av idén. Efter diskussionen kom man överens om att fortsätta under en kort period med ytterligare experiment men att dessa inte skulle sträcka sig längre än till den 10 februari 1970. Då skulle ytterligare ett antal prover ha undersökts. Man beslöt också att det inte var meningsfullt att bygga en mera sofistikerad forskningsapparat i syfte att studera prover. Istället skulle man inrikta sig på att ta fram en prototyp som skulle kunna testas i klinisk miljö. En ledande roll i detta beslut spelade Ewan Lennon, då han lyckades övertyga ledningen för DHSS att satsa pengar på ett utvecklingsprojekt där man tog fram en prototyp. Ett sådant projekt beräknades kosta ca en halv miljon pund och DHSS skulle betala en viss del. EMI fick redan vid denna tidpunkt visst bidrag från DHSS för att fortsätta med testexperimenten. Det beslöts också vid mötet att man först skulle utveckla en maskin avsedd för skallen, då detta var lättare. En kroppsmaskin skulle ta längre tid att utveckla och det fanns en större del tekniska svårigheter. Den avgörande orsaken var att exponeringstiden projekterades till mellan 4 och 6 minuter. Det stod då klart för radiologerna att då patienterna inte kunde hålla andan under så lång tid skulle bilderna bli av en mycket dålig kvalitet och inte kunna användas för diagnoser.

Till skillnad från vid kroppsorgan skulle det inte vara några rörelser i hjärnan och därmed det rätta stället att börja. För övrigt fanns det redan många tekniker, särskilt för lungorna och flera av dem krävde inga invasiva hjälpmedel. För hjärnan var man antingen tvungen att göra angiografi eller att leda upp luft i skallen, två obehagliga och ibland riskfyllda metoder. Hounsfield talade själv däremot starkt för en kroppsversion, då detta hade varit hans avsikt redan från början och han kände sig begränsad i sina handlingsmöjligheter om man enbart utvecklade en skullmaskin. Radiologerna ägnade en god stund av mötet till att övertyga Hounsfield om att man skulle börja med skallen.

Under januari månad 1970 fortsatte försöken med biologiskt material. Man började i större omfattning titta på hjärnor från kor, vilka Hounsfield och en av hans assistenter åkte och hämtade på olika slakterier. Även om man bestämt sig för att nu utveckla en skullmaskin fortsatte experimenten även med övriga kroppsorgan. Kreel undersökte bl a en hel gris och var nyfiken på hur mycket av strukturer i grisens buk som skulle vara möjliga att se.

Ambrose berättar om försöken med hjärnor från kor:

"We were scanning the ox-brains in order to try and simulate reality. We pieced together an enclosure from bits of bones to try to see if we could get a condition where we had the tissues inclosed by bones. There were other things that perplexed us a bit. We didn't know how much certain things like air in the frontal sinuses were going to affect the scans. Likewise how much the bones should effect us, how much the cerebral fluid would effect us. These experiments were really designed to try and test. Using that specimens and not living ones because we didn't have a machine in which we could put in living specimens. I remember one day when I was at EMI, Hounsfield showed me the latest printout from one of the cadavers. He said: 'Look at this - it is a pity this has been spoiled.' We looked at it and we could see the high attenuation numbers, where the bult had penetrated the animal's head and caused a damage. So OK - we had expected that. What we wanted was a specimen that had been unspoiled but this was killed animals from the abbatoirs and we had difficulties in finding specimens that were not damaged. There were sections where we could distinguish a clear differentiation between the values of the cortex and the white matter. This was quite exciting and was one of the things that added in impetuous to the development of the headmachine rather than a bodymachine at this stage." (7)

Efter ytterligare ett möte med kommittén i februari 1970, där fler framgångsrika bilder visades, sades det vara tid att börja bygga en prototyp. Lennon hade utövat ökat tryck mot sina överordnade och menade att det var absolut nödvändigt att inte förlora ett gyllene tillfälle och att DHSS måste satsa sina pengar. Ett slutligt beslut togs, där DHSS skulle betala en del av utvecklingskostnaderna mot att de fick råda över prototypen.

En person inom EMI:s ledning berättar om stödet från DHSS och menar att EMI återbetalat detta många gånger om:

"DHSS supported the project with a sum of money, unbelievable small. It was something like 17.000 £ total. They supported like getting the change of Ambroses hospital to make the CT-scanner come into the room. In exchange for the help from DHSS we negotiated that they should buy brainscanners to a special price. They should also get a commission on the royalty of the selling of CT-scanners. They have been massively repaid afterwards." (8)

I samband härmed gick koncentrationen över till utvecklandet av prototypen och i stort sett upphörde Kreel's och Doyle's samarbete med Hounsfield för en period av ca 1 år, medan Ambrose blev involverad i ett intimt arbete med EMI:s projektgrupp.

Hur en första prototyp växer fram

I februari 1970 startade arbetet med att bygga prototypen vid EMI:s centrala forskningslaboratorium, ett arbete som till sin huvuddel blev klart i april 1971.

Inom projektgruppen hade man en del preliminära diskussioner om vilken form prototypen skulle få och hur patienten skulle placeras i maskinen. På det här

stadiet var Hounsfield också övertygad om att patientens huvud måste placeras i en vattensäck för att få så bra bilder som möjligt, vilket visats under de tidiga experimenten med biologiskt material.

Man diskuterade hur vattensäcken skulle se ut, hur den skulle tömmas, sättas fast osv. Ett annat problem var hur man skulle relatera patientens huvud till en mekanism som innehöll röntgenrör och kristalldetektorer för att få systemet att fungera.

Utvecklingsgruppen träffades regelbundet hos EMI, ibland två gånger per vecka och diskuterade olika aktuella frågor.

Ambrose berättar om mängden av små problem som måste lösas:

"We used to go out to EMI sometimes twice a week to discuss how things were going on. One or two days went and they said: 'You must all come out, we have got something more.' At any rate the meetings were regularly once a week. I remember, I think it was every Wednesday. I use to pick Ewan Lennon up and we motored all the way up to Hayes. It was a bit of a holiday, away from work something pleasurable, something new and exciting. We discussed things with Hounsfield and used to spend the whole day out there. We discussed everything and it was astonishing how much it was to discuss about this and that. The next thing to go to, the patients and details of this and that. Different costs, the difficulties of making things. For example rubberbacks for the head. You have no idea of how difficult it was to get the right specifications, the right rubber or the right people to manufacture it and to get them enough interested in manufacturing it." (9)

Successivt började prototypen ta form. Den var i första hand en klumpig hemmagjord maskin som till stor del präglades av improvisationer. En sak som under lång tid fick uppmärksamhet var bordet som patienten skulle placeras på. Det visade sig bli mycket dyrt att specialdesigna och dessutom visste man inte vilken form som skulle vara bäst. Man trodde sig behöva många innovationer innan man funnit den form som mest underlättade arbetet. Man beslöt sig för att experimentera och tog ett vanligt röntgenbord och modifierade detta. Det fanns stora problem med att få patientens huvud att ligga still i vattensäcken vars tryck hade en tendens att hela tiden pressa ut huvudet ur maskinen. Slutligen fick man fram en modifikation av patientbordet som kunde motverka trycket och därmed hålla patienten i konstant position.

Under tiden som utvecklings- och konstruktionsarbetet framskred inom EMI, planerades på Atkinson Morley's Hospital för att ta emot den nya röntgenmaskinen. Med tanke på Ambrose's tidiga och djupa engagemang i projektet föll det sig naturligt att prototypen skulle placeras på hans klinik för kliniskt utvärderingsarbete. Dessutom var sjukhuset ett av de kända och specialinriktade inom neurologiska sjukdomar. En ytterligare faktor som talade för denna placering var sjukhusets något isolerade läge, som gjorde det lättare att skydda uppfinningen mot oönskade besök. Ett särskilt rum fick byggas som skulle inhysa maskinen, då någon annan plats inte fanns.

Den första prototypen som byggdes och senare kom i kliniskt bruk var i själva verket en hantverksprodukt byggd inom ramen för ett forskningslaboratorium. Den transporterades till Wimbledon i augusti månad 1971. Den sattes samman och man gjorde en del tester och den 4 oktober undersöktes den första patienten i maskinen.

Ambrose berättar:

"This was a woman with a frontal tumour, it was cystic. I remember telling her not to be worried, because this was a wonderful new machine. She was the first patient in the whole wide world to be examined by it. She was very nice about it and quite excited. I saw this woman about three years later. She came back with her recurrence. I said: 'Hello' and she said: 'Oh you remember me', and said 'I was the first patient to be scanned in this new machine.' But at that time we were on to a different mark. She remembered the old machine." (10)

Under detta tidiga skede fanns ingen dator kopplad till själva röntgenmaskinen (scannern) utan data togs direkt upp på ett magnetiskt band. Detta skickades sedan till EMI för rekonstruktion på deras stora datamaskin som var ganska långsam (11). Den första tagningen gjordes egentligen på en 160 x 160 bildmatrix, men på grund av den långa rekonstruktionstiden beslöt man att till en början nöja sig med en 80 x 80 matrix. De första snitten togs med en exponeringstid på 4,5 minuter, men den ökades senare till 6 minuter för att möjliggöra bättre bildkvalitet.

Efter att ha rekonstruerats hos EMI skickades bilderna tillbaka på ett magnetiskt band, som Ambrose och Hounsfield stoppade in i en visningsenhet och lyckades få fram bilder ur denna. När de såg bilderna för första gången hoppade de upp och ner och skrek: 'Heureka!' (12)

Varje snitt tog upp till 20 minuter att rekonstruera, vilket tillsammans med kostnaden för databearbetning begränsade antalet patienter som kunde undersökas. Det beslöts att först undersöka 200 patienter för att utvärdera prototypens möjligheter.

Hounsfield kommenterade det faktum att man från början planerade för centrala datorer:

"At first we thought of having a central computer connected with different CT-scanners. This was what happened at Atkinson Morley's Hospital when we had our prototype there. Later on minicomputers made it possible to have small computers for every machine, but I think we still would be successful with land-line. At that time there was not so much information to put into the computer." (13)

Röntgenläkaren Kreel ger sin syn på centrala datorer och menar att EMI till viss del hade tur genom tillkomst av minidatorer:

"Perhaps it was just a crazy idea not worth the risks. When it was started the idea was based on that there would be a huge centralized computer and the data would be sent into this centralized computers

from each CT-machine. Then the results would come available. That is the way they started working. In one sense EMI was very lucky that the minicomputers came in. It would still have been a success, but it would have been more complicated without the minicomputers. Perhaps we would have had radiologists sitting in big buildings, analyzing the data that came from many hospitals. That could have been a crazy situation." (14)

I bild 2 visas hur prototypen såg ut.

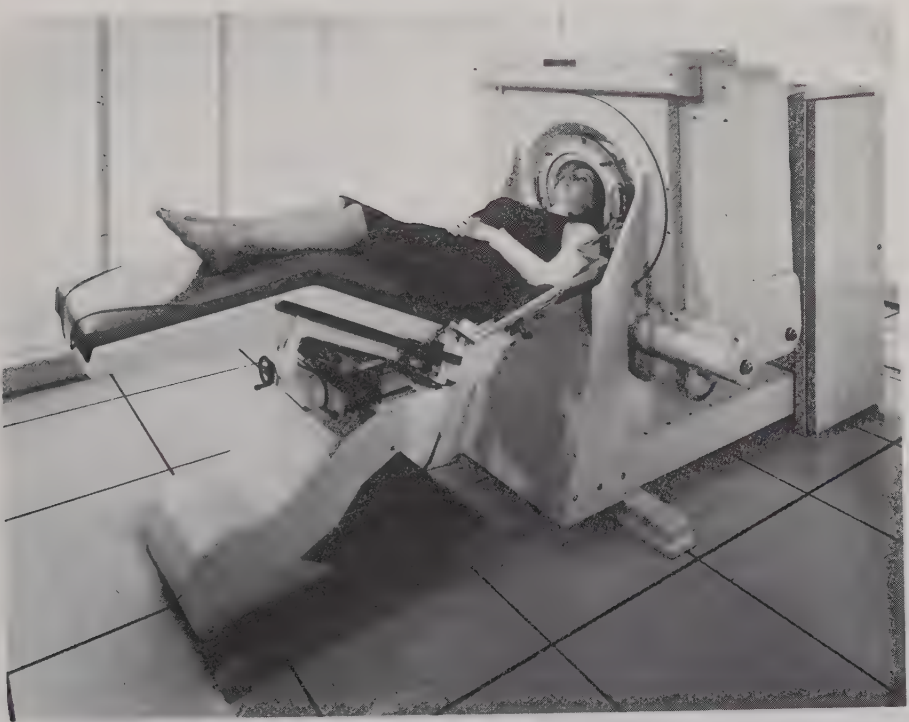


Bild 2. Den första datortomografiprototypen.
(foto från EMI Medical, England)

9. EMI ETABLERAR ETT NYTT AFFÄRSOMRÅDE

När prototypen stod färdig måste EMI bestämma sig för hur man skulle lansera den. I detta kapitel berättar vi om hur EMI efter några kontakter med etablerade medicinsk-tekniska företag, med mycket sval reaktion, bestämde sig för att börja producera datortomografer på egen hand. Kapitlet behandlar också den mycket snabba utvecklingen 1972-1975 och EMIs framgångar under dessa år.

EMI beslutar sig för att satsa på datortomografi i egen regi

I takt med att prototypen växte fram inom EMIs forskningslaboratorium funderade företagsledningen på hur denna nya röntgenmaskin skulle tacklas. EMI var under 60-talet något av en sovande jätte, som historiskt hade haft ett flertal produktsuccéer, som TV-system, radar under andra världskriget och en snabbt expanderande underhållningssektor under 1950- och 60-talen, vilken kulminerade med The Beatles och en lång rad guldskivor. Man hade en stark position i forskning och en högt kvalificerad teknisk expertis, men ansågs vara svaga på att kapitalisera på sina uppfinningstalanger, svaga inom produktdesign, produktion och framför allt inom marknadsföring. (1)

Under 1970 engagerade EMIs styrelseordförande en teknisk expert från Texas Instruments, John Powell, som till en början under en 6 månaders period skulle göra en fullständig teknisk bedömning av EMIs forskningsprodukter. Bland oexploaterade idéer fann Powell Hounsfields datortomografiprototyp. Han såg i den en möjlighet som EMI behövde. Man hade varit involverad i för många projekt och anslutna till för få av dem. Han beslöt att koncentrera sina ansträngningar till denna idé, även om han förstod att det skulle uppstå problem. EMI hade nästan inga erfarenheter inom det medicinska området.

Powell hade tidigare arbetat inom Texas Instruments engelska dotterföretag, som chef för produktion och marknadsföring i Europa. Han hade en styrka i goda kunskaper inom halvledarteknologin. En anledning till att han rekryterades till EMI var att han på uppdrag av styrelseordföranden skulle utveckla EMIs kompetens inom det snabbt framväxande halvledarområdet. Powell förankrades snabbt i organisationen. Han blev först chef för kommersiell elektronik och 1971 "group managing director" med ansvar för alla operativa enheter inklusive musik- och underhållningssektorn. Alla divisionschefer rapporterade till honom.

Även om man inom DHSS sade sig vara intresserade av datortomografin var de inte beredda att binda sig för de fem maskiner som EMI kände sig behöva bygga för att få en rimlig start. DHSS ville enbart garantera köp av en och lämnade för övrigt ett vagt löfte om att stå för kostnaderna för de fyra andra. Powell och ett par ledande personer inom divisionen för kommersiell elektronik fann det långt ifrån lätt att få idén igenom EMIs styrelse och var involverad i ett antal strider efter det att styrelsen för första gången hörde talas om Powells ambitioner. Företaget var inte alls känt inom den medicinska professionen och inte speciellt känt inom elektronik utanför Storbritannien. Däremot försäkrade alla inblandade radiologer att EMI verkligen hade något som var värt att satsa på. Man kände inte till hur stor marknaden skulle bli, hur många sjukhus som kunde plocka fram de nödvändiga 150.000 punden eller mer för att köpa en sådan utrustning. Frågan om att erbjuda idén på licens och sälja know-how togs

på allvar samtidigt som det ansågs fantastiskt om EMI kunde genomföra den här nya produktsatsningen på egen hand. Det var en möjlighet för EMI att utveckla en ny verksamhetsgren. Vid en tidpunkt var styrelsen splittrad kring om man skulle gå på egen hand eller om man skulle sälja rättigheter. DHSS var totalt emot en försäljning, då de hade satsat egna resurser för att utveckla den och ville inte se datortomografin försvinna till USA eller kontinenten. Successivt utvecklades en majoritet för att EMI skulle gå på egen hand trots de uppenbara risker som bedömdes finnas.

Powell berättar om den stora osäkerheten som var förknippad med dator-tomografi och betydelsen av DHSS' stöd.

"We had to put down about 6 million £ to get the idea off the ground and that is not peanuts to any firm. There were so many uncertainties and the problem in taking risks in business is always if you are going to see the money back? - will it be worth it? - will it offer the right opportunity to the people inside EMI? For we knew that we had to put the idea forward rather fast, as we didn't know how long it would take for competition to catch up with us. All we did know was having this idea we had to go for it like hell. We had to bring in people, we had to put up space and set up a market department in the field."

"The involvement of DHSS in the first place was vital. They encouraged us, they told us that we really had something. Secondly it was necessary for us that DHSS bought our first machine and to put it in a hospital environment so we could bring potential interests from various parts of the world to see the machine in this environment. The radiologists could explain to them representatives that this machine was capable of doing what we said it could do." (2)

Medan idén till datortomografin hölls hemlig under utvecklingsarbetet inom EMIs forskningslaboratorium, söktes samarbete med de ledande röntgenföretagen efter det att tekniken presenterats. Det visade sig emellertid finnas ett mycket svagt intresse hos den etablerade industrin. EMI tvingades satsa på egen hand. En person inom EMIs företagsledning berättar:

"The idea of CT was not offered to any other firm before the prototype was ready. There was no announcement made to anybody until Hounsfield and Ambrose talked to a number of people in December 1971. That was the first 20 people who saw the first pictures. In December 1972 there was a public presentation to Philips, GE and the Japanese companies and all of them failed to react. My chairman wrote a kind letter to the head of Toshiba but they reacted and said that they saw no future in this.

The big X-ray companies first of all thought they were in such a strong position with all radiologists depending on them. Radiologists had had the power over manufacturers to buy or not buy. Many of them have travelled world wide at the expense of the manufacturers to exhibitions, conferences, etc. The radiologists could not turn their loyalty to something different. It was not yet shown that it had great promises. Nobody had thought that CT should expand to the

body. If you look through the list of people who supported the idea they were all neuroradiologists or head of this kind of specialties.

In the first study we did in the US we identified 170 such hospitals out of 7.000 hospitals. 170 could be sold to as they had strong neuroradiologists. The general radiologists did not believe CT should have any big impact on them. Other X-ray firms and radiologists could not see the possibility for the body.

Even the Japanese did not, in 1974, when I sent Sidney Toft out to Japan to go around and invite them to the UK and see what we had, give us any reaction. He came back and said that only Mitsubishi and Toshiba will eventually accept the invitation. The exhibition was instead made at the Embassy in Japan and only Mitsubishi and Toshiba came along. Someone inside Mitsubishi was so impressed that he came to England the next day so fast that even our staff had not seen that Mitsubishi had been at the exhibition. He had a cheque on the full sum to buy the first machine to a hospital in Japan that was totally filled up with Toshiba equipment.

We made Mitsubishi and Toshiba to make a market survey in Japan and they came back and said that there was no interest in CT in Japan. Perhaps 4 to 5 machines were able to sell the next year. We also got an offer from Picker from the US, who came and said that they wanted to pay one million dollars for the total rights of CT in the US. GE came in 1974 and said that they were not able to do a deal with us. We had to take a decision to go alone.

One market we could not attack was Japan. We had to work through companies with a strong market position there. The rest of the world we decided to take on our own. Otherwise everybody in EMI was interested in cooperation with other X-ray firms, because everybody saw the cost for the further development and that it should be very substantial. Kapris was opposed to spend money that we didn't get back. As we got no reaction from Philips, North American Philips, GE he was very anxious to get the project through. The board was at the time prepared to stop the project. Kapris, Powell and myself tried to win support at the board for some more money." (3)

Bland de tillfrågade företagen fanns Siemens, Philips och General Electrics, men något samarbete kom aldrig till stånd. En svensk representant för Philips berättar om sin syn på varför röntgenföretagen inte var intresserade av datortomografin och pekar på trögrörlighet inom de stora röntgenföretagen:

"Det är sannolikt att någon inom Philips fått motsvarande idéer, men chefen har sagt att det här tar vi när vi får tid. Större företag som Philips, är tröga att snappa upp idéer. EMI var ett litet företag vad gäller medicinsk teknik och hade ingen tradition inom denna bransch. Det är en vanlig företeelse att engelsmännen uppfinner och amerikanerna exploaterar. Den första jetmotorn kom från England och likaså uppfann man radarn där. Ett tredje exempel är att man där tagit fram framstående TV-system. På något sätt krävs det en

engelsk sorglöshet där man kan lägga vardagliga problem åt sidan. De har också en lösligare organisationsform. Nu efteråt kan man säga att vi skulle tagit fram en sådan uppfinning, då vi hade alla förutsättningarna. Vi har röntgenkunnandet, forskningsresurserna och röntgendetektorer, som passade för uppfinningen. Men på något sätt är det svårt för stora företag att ta fram uppfinningar. Varför Philips sade nej till EMIs erbjudande om att ta över idén till datortomografi är svårt att säga. Jag har inte hört Philips motivering. Man trodde sannolikt att datortomografen skulle bli en leksak, eller i varje fall att den inte skulle gå att realisera. Man vet hur det engelska temperamentet fungerar. Deras prototyper är verkligen prototyper i dubbel bemärkelse. Den första datortomografen var säkerligen en riktig rishög. Kommer sedan ordentliga holländare och västtyskar och ser denna prototyp säger man genast nej. Likaså trodde man inte på möjligheterna till lägre rekonstruktionstider. Vid början av 70-talet var rekonstruktionstiden på bilden flera timmar. Detta färgar uppfattningen hos eventuella köpare. Utan tvekan var dock beslutet om att inte ta erbjudandet från EMI förankrat på något sätt i centrum vad gäller ledningen för medicinska system i Holland." (4)

En representant från GE ger sina kommentarer och för fram de långa kommunikationsvägarna inom GE och byråkratiska beslutsregler:

"Det är en svår fråga att besvara varför just EMI tog fram datortomografen. Det viktigaste skälet är naturligtvis att man hade gossen Hounsfield och hans kreativitet inom organisationen. Han kunde tydligen se kopplingen röntgenstrålning och dess bearbetning med matematiska metoder för analog informationsöverföring. EMIs företagsledning satsade också sina miljoner först efter det att övriga företag tackat nej. Man ville inte utveckla den på egen basis från början. Anledningen till att övriga företag tackade nej är att man trodde att datortomografen var ett forskningsjippo. Detta fick också till följd att man sedan kom långt efter i utvecklingen. När man sedan såg de framgångar som EMI fick med sin datortomograf blev man rädd för att förlora röntgenmarknaden och satsade starkt.

Inom GE trodde man till en början inte på datortomografens potential marknadsmässigt. Kanske man kunde sälja 20-60 st dator-tomografer. Ett företag som GE måste för lönsamhet ha sin tillverkning i serieproduktion. Vi kan inte skräddarsy våra system i någon större utsträckning. Visserligen har vi kärnkrafttillverkning och produktion av stora turbiner, men detta bygger på helt andra tekniker. Över huvud taget sker det sällan några produktrevolutioner inom stora företag. GEs traditioner bakåt med Edison finns inte på något sätt kvar nu längre. Istället har man den amerikanska andan med företaget i controllerns hand. Man upplever att tekniker och framför allt marknadsförare enbart är störande faktorer i bilden. GE fungerar som en stor byråkrati med mycket strikta regler för hur kontakter skall ske. GE i Sverige tillhör den europeiska divisionen, som också omfattar Afrika. Man har sitt huvudkontor i London.

GE är organiserat med ett stort antal executive vice presidents på översta nivån. Därunder har man sektorchefer som i sin tur har

ansvar för ett antal divisioner. Inom ramen för dessa divisioner ligger sedan de tillverkande och försäljande företagen. Om man har en idé inom koncernen, har man många vägar att gå innan man får kontakt med de beslutande instanserna. Man får inte själv ta kontakt, om man tex behöver expertis på internationell finansiering. Detta skall gå över det amerikanska huvudkontoret, som i sin tur har att ta in den information man behöver.

Detta är enbart en grund till att det är mycket svårt inom GE att få företaget att satsa på sådana outsidersgrejor, som Hounsfield kom med. De som tagit beslutet att inte satsa på Hounsfields idé sitter för långt ifrån informationskällan." (5)

Hur EMI bygger upp produktion och marknadsföring

I december 1972 stod det klart att datortomografin var en produkt för divisionen för kommersiell elektronik. Vid denna tidpunkt hade John Willshir efterträtt John Powell som divisionschef. Willshir berättar om hur produktionen startades:

"In December 1972 when it was very clear to me that this scanner idea was a non-defence project it should rightly come into my division. I was therefore able to make things happen very fast. I picked up the know-how from Central Research Laboratory late 1972-73. Inside this CRL they anticipated making 12 machines and this was the total forecast. I had recognized from the market survey down in the US that we could sell everyone of the CT machines that we could make, the question was how many we could make. Obviously we recognized that something had to be done to produce things very fast. I had to use different resources in different divisions. I was able to get pieces of things done in South Wales at a company that produced telephone dials. Other firms made the detector material, the electronic division made the tubes, the sound equipment was made by another division and all large parts and painting were done by others. Labour forces came from all parts of the company in order to get this off the ground fast enough.

At this early stage it was not possible for us to form a new division directly. It was therefore very fortunate that we could pick it up in this matter. We first made and created the production and the further production structure and then created the sales organization. This was done largely by setting it up in the US. Mainly by demonstrating a superb service." (6)

Till bilden hör att EMI hade svårigheter att expandera sin tillverkning i Londonregionen, pga regionalpolitiska överväganden från regeringen, som tvingade EMI att sprida sin produktion. Willshir berättar:

"One important point is that in 1968 before I joined the company there was a move from the government to pressure EMI to reduce their employment in the London area and certainly not to expand it at the side of Hayes. The purpose was to get industries to expand in north-east, north-west, south Wales and in Scotland instead. At the

same time there was something like 400.000 square feet of space of Hayes and none of it could be used for expanding the scanner activities when we had to do something about it. In the initial stages of the concept we had to develop scanner manufacturing and there were certain key activities. We had to anticipate a market survey just done in the US and which showed a major impact from CT in the US. That made us establish an assembly unit there, second we had to find some alternative space in the UK, not on the Hayes side. It so happened that I created such a powerful pressure for substantial production unit at Hayes, that the government gave permission for us to use first 40.000 square feet and then 60.000 square feet. In 1975 we had to take an extra 100.000 square feet north of London. I was on a tremendous pressure to make it 300 miles outside of London. We took at the same time 100.000 square feet of space outside Chicago for assembling and testing the equipment over there, but not for manufacturing." (7)

Under det vidare planeringsarbetet insåg man mycket snabbt att marknaden i Storbritannien var för liten. Det fanns inte några möjligheter att bygga en framgångsrik affär genom att stanna på hemmamarknaden. Man beslöt att satsa på den amerikanska marknaden. Anledningen var att man i USA såg hälsovård till stor del som en affär som omsluter 100 miljarder dollar per år. Då varje datortomograf skulle kosta 0,5 miljoner dollar måste man förvissa sig om att det gick att sälja dessa. I USA bedömde man att det fanns pengar och en vana att spendera dem på hälsovård. Sjukhusen och framför allt radiologerna var tekniskt orienterade. Det fanns i städer som Chicago och St Louis åtskilliga tiotal sjukhus med dyr, avancerad utrustning på röntgenavdelningarna och hade man redan spenderat 300-400.000 dollar för ett undersökningsrum så var tanken på att köpa ett nytt stycke utrustning till ungefär samma kostnad inget problem. (8)

Denna bedömning kom EMI fram till genom en egen marknadsundersökning gjord 1972. Willshir berättar:

"Nobody had any idea on the market potential before we had done our market research. Rolf Shield started the survey. It was in 1972. He described that there were at least 30 systems in the US to be sold. We made another survey which described how to sell the machines. We analyzed different targets in the UK. We saw that there were 2.490 hospitals, this was official WHO-statistics. These hospitals had 6.300 conventional systems that makes 2,5 system for each hospital. Other things we checked were number of beds, population, health budget and of course if they had any neuro-radiology department.

In the US we saw 7.100 hospitals with 28.000 conventional X-ray equipment. That made four for each hospital. We assessed at this very first stage that every hospital with more than 300 beds must need a system and also have the money to buy it. The target over four years was to sell 1.200 and we actually sold 1.100. We were marginally over-optimistic at the time. We also said that the target was to produce 100 in the US out of 250 purchased systems in the US." (9)

Efter den första presentationen av prototypen på kongressen vid British Institute of Radiology i april 1972 dokumenterades datortomografins tillämpningsområden i ökad omfattning bland annat genom ett flertal presentationer av Ambrose och andra forskare vid vetenskapliga sammankomster och genom publikationer som rapporterade om tidiga resultat. (10) Det stod klart att tekniken snabbt skulle komma att intaga en integrerad funktion bland de neuroradiologiska metoderna. En viktig roll till att skapa uppmärksamhet kring datortomografen spelade den årliga röntgentekniska utställningen i Chicago, RSNA, där tekniken för första gången visades i december 1972. Det bildades en användargrupp i maj 1973 som bl.a. förberedde det första symposiet om datortomografi i Montreal. Där beslutades att den nya tekniken skulle gå under namnet Computed Tomography.

Succén kom snabbt och orderna strömmade in till EMI och potentiella kunder fick ställa sig i kö med en väntetid under de första två åren på ca 10-12 månader.

De första två eller tre systemen var egentligen endast avsedda som prototyper, då de var mycket enkla och uppenbarligen ingenjörsmodeller med föga sofistikerad extern design. Den ursprungliga planen var att tillverka 16 stycken av dessa inom CRL och placera dem på marknaden och se vilken reaktion man fick. Efterfrågan visade sig vara så stor att man inte fann tid att omkonstruera eller "piffa" upp dem. "Bry Er inte om det. Vi tar den som det står", var vad kunderna sade. I själva verket sålde man sammanlagt 250 system av den första modellen, Mark 1, vilken exakt motsvarade den prototyp som Hounsfield och hans utvecklingsgrupp byggt inom forskningslaboratoriet. Detta skapade en enorm tillväxt och inkomstökning för EMI, men samtidigt en del problem med att snabbt bygga upp en produktions- och marknadsstruktur kring den nya produkten.

Genom ett enormt tryck från marknadssidan blev det möjligt för EMI att vid ordertidpunkt ta en del av försäljningssumman som deposition, vilket hjälpte till att finansiera utvecklingen och omställningen för EMI. Man tog upp till 40% av den totala ordersumman i förskott, till en början ca 12 månader före leverans. Efterfrågan steg mycket snabbt. Mot beräknat kanske ca 20 system de första 2 åren såldes 50 system enbart under det första året.

Powell berättar om den mycket starka efterfrågan, som möjliggjorde för EMI att ta 40% av ordersumman i förskott:

"CT was new and anything new means change and we had to overcome obstacles and to go out with enthusiasm meeting these customers. I think this is what it all is about. The 40% down payment was new in the field of medical equipment and in America. But at the same time, we had made pretty heavy commitments in terms of people and material and we knew it would take initially something like nine or twelve months deposit. Competition was always in the background, and if they had come with something superior the customer could have cut us off and gone through our competitors. So we used the 40% down payment to minimize the risk. All business is risk whether in the medical or other fields and we wanted to reduce or minimize that risk." (11)

"Folk stod i kö" och problemet för EMI var att bedöma vilka som var seriösa kunder. Reaktionen var kanske tio gånger större än väntat. Relativt stora resurser fick sättas in från EMI för att utbilda och träna personal i användning av datortomograferna.

I sina marknadsatsningar i USA insåg EMI att med liten expertis inom det medicinska området eller i marknadsföring av elektronik på den amerikanska kontinenten behövdes något som kunde skapa entusiasm i satsningen. Man beslöt att bygga upp en egen organisation, först i Storbritannien och sedan genom satsning på en lokal försäljningskår i USA. Med denna kunde man följa upp all information som kom från olika institutioner. Detta måste gå fort för att möta den hastigt ökande efterfrågan.

Man startade med att skapa en marknadsavdelning för datortomografin och valde att medvetet rekrytera personer med erfarenheter inom medicinsk industri. Det gällde personer som sålt konventionell röntgenutrustning, gammautrustning, automatisk testutrustning, etc till sjukhus och då förvärvat en förståelse för sjukhusystemets struktur.

Man startade från den absoluta nollpunkten avseende medicinska erfarenheter och fick verkligen sätta sig ned och fundera över vilken som var den rätta marknadsplatsen. Gällde det alla sjukhus med mer än 500 sängplatser eller kanske alla privata kliniker i vissa länder eller universitetsklinikerna i åter andra länder? I praktiken blev reaktionen vid RSNA-utställningen i Chicago så enorm att marknaden skapades för EMI utan några ansträngningar.

Ledningen handlade snabbt och "över en natt" skapades en medicinsk division. Fram till 1974 låg produktionen utspridd på respektive divisioner. Produktionen drogs nu samman till en central enhet i Hayes. Produktlinjer byggdes upp för tillverkning och kontroll av systemen, resurser drogs in från alla delar av EMI och personal inom elektroniksidan tränades i nya färdigheter. I slutet av varje månad från 1974 åkte nya datortomografer iväg med chartrade jetplan till alla delar av världen, först ett plan per vecka och senare två per vecka.

Produktionen accelererade i den nya sammansättningsfabriken i Hayes, där man i mitten av 1974 kunde se kanske ett dussintal maskiner under olika stadier av sammansättning. I mitten av juli 1974 levererades kanske 10 stycken kompletta system och man ökade kapaciteten till ca 20 system per månad under de kommande tolv månaderna. Man byggde upp produktionen kring redan befintliga anläggningar. Det fanns inte tid att vänta på någon särskild anläggning. Här hade man hjälp av överkapacitet som uppstått på regeringens regionalpolitik. En stor del av systemkomponenterna köptes från externa leverantörer och man spred på så sätt arbetsbördan och vinsten. Datorn och magnetband kom från General DATA, BICC levererade speciella kablar och operatörsenheten stod åter andra specialföretag för. EMIs mekaniska ingenjörsavdelning hade hand om all mekanik i systemet. Röntgenenheten kom från PANTAK Ltd, ett företag som var bättre känt inom industriell röntgenutrustning. Det hade funnits ett långt samarbete mellan EMI och PANTAK. En av PANTAKs nya aktiviteter var röntgensystem för kontroll av bagage och last till vilket EMI bidrog med vissa utrustningsdetaljer.

I februari 1974 köpte EMI hela PANTAKs aktiestock plus ett associerat företag, Portaray, för 420.000 pund i kontanter och EMI-aktier. Affären förde samman

en huvudleverantör med EMI, samtidigt som det öppnades nya marknader för EMI inom aktiviteter såsom system för inspektion av pipelines för Nordsjöolja.

För att möta den kraftiga efterfrågan från USA tvingades EMI etablera en sammansättningsfabrik i Chicago, inte minst för att sänka kostnaden. Willshir berättar:

"We worked with a one year programme covering July until June the following year. In February 1973 we estimated to build four machines inside CRL. We picked up material for three to five more in CRL. The next year we estimated to build 32 machines. We also started a factory in the US in 1974 in August. We actually took over 40.000 square feet of new premises. Before they even finished building it we took an extra 40.000 square feet which made a total of 80.000 square feet which was the whole area. We occupied the factory in August 1974 outside Chicago. We were also trying western Virginia. We had gone there because here is the new Dallas airport and it must be good to get goods in there, people told us. It was a disaster. It was too relaxed. It was a country environment with a lot of diplomats around Washington so it was a disaster although we took some premises on a five years lease. I reviewed the business at my second visit and fired the manager who was just as relaxed as the chosen area. We taught the US to put the machines together. We put the systems together in the US to meet the customer. The reason for shipping incomplete systems was that the taxes were lower if we shipped them incomplete. We only had to pay up to 40% of the cost for a whole system." (12)

Den andra datortomografen gick till professor Isherwood, Manchester. De två första systemen utanför Storbritannien installerades i USA vid Mayo Clinic, Rochester och Massachusetts General Hospital, Boston, i juni och juli 1973. Efter installationen vid Mayo Clinic behövde "datortomografin inte se tillbaka". Detta var en försäljares dröm - en nyckelinstallation i ett världsberömt institut, som fick till följd att snabbt ytterligare 75 system beställdes av vilka ca 40 stycken levererades under de första två tredjedelarna av 1974. Förutom något eller några system gick de flesta till USA.

Det gick t o m rykten om att för att bevara freden mellan två konkurrerande kliniker var det nödvändigt att installera systemen på samma dag. Under 1974 såg man t o m två ersättningsbeställningar och 1973-74 de första systemen i Sverige, Schweiz, Belgien, Danmark, Italien och Australien.

Powell kommenterar kritik mot att EMI satsade ensidigt på USA:

"Somebody has said that we neglected the other world in favour of the USA. The point was that this was the world's biggest market. This is where we concentrated first. The rest of the market was slow to develop in itself and had a resistance to change. We recognized that and this is the reason why we went to America at first. Gradually through concretes the message went through the western world and we followed up and have now a strong position in Japan and have strong efforts in developing our position in the European countries. Up till the middle of 1975 EMI had the world

market for scanners entirely to itself. In the US the local company had sold 177 units. Back in the UK DHSS had put up enough money to buy their 7th machine. This was an efficient indication perhaps that the UK in itself was not a sufficient market. Other markets such as Europe were developing rather slowly though EMI had gone out and had successfully exploited it in certain aspects. Slowly the rest of the world began to catch up." (13)

Marknadsansträngningarna leddes från den nystartade medicinsk-elektroniska divisionen i England, som skötte marknadsföringen i alla länder med undantag för Nordamerika där dotterbolaget Emitronics Inc. skötte försäljningen från sin bas i Chicago med en personal på 60 personer vid mitten av 1974.

Marknadsföring av datortomografin i USA krävde omfattande nya resurser, vilka EMI enbart till en liten del hade inom den egna organisationen. Willshir berättar:

"Nobody can guess the amount of money we estimated for developing the CT system. It was very small. It was to be written down each year. It involved very few people, perhaps 30 people. The original invention took very little money, the further development took very little money. But the further production and development were of course much more expensive. We on the commercial side never had the time to perfect the system. Hounsfield never understood that everything happens so fast in the US that there was no time to perfect the system engineering. Had we spent more time on that everybody else would have caught up.

The highest cost of all was to develop the marketing and sales organization. That because we had nothing of it. People first suggested that we should use our record company and service engineers. We had to say that this is a totally different world. It was a question of the first 20 people on the service side, which were sound engineers on my division. All of those first 20 people are all but one inside CT still. They love it. Then we had to recruit people. The first three years we didn't have to sell. We only had two sales people in the US, five contract engineers, 10 exhibition staff and one service engineer for each machine we installed, one support engineer for each machine and one radiographer for every ten machines.

We estimated that 10% of the cost for one CT system was service cost. That is now down to 6%. 20-25% is on selling and all that goes with it, demonstrating, exhibitions, contract engineering, special design, surveys, etc. 55% is production and the rest is shared between developing costs and profit.

If I hadn't got the sound electronic division and being in that special division at that time of the start it had not happened. People understood a TV-screen, what 600 lines on the screen meant, they knew computers, understood mechanical engineering, detectors, display console.

The fall of the other product simultaneously 1973-74, in the oil crisis time, made that we had some spare people and space.

If you take an order today you know that in conventional X-rays that it takes the hospital two years to get ready to recruit service engineers and for them to spend time with the machine. Therefore the idea was to sell the CT in groups of five across the US and the world. Groups of five hospitals in travelling distance from each other, so we could employ one service engineer for five machines which later became two for five machines. The original machine was simple and the later versions were more complicated and today you are lucky if you can get one service engineer for two machines.

We were around the world to recruit everybody in 1975. Only in the US 300 people. We also did the market surveys by ourselves. The market department came up with that there were 170 positive opportunities to sell CT scanners for the brain and we actually sold 164 of them. That covered 2,5 years because we could not make them any quicker. To the other six the ACTA scanner was sold."

I England spelade DHSS en väsentlig roll till en början för spridningen av skulltomografer. Willshir berättar:

"DHSS purchased 21 scanners at the price that we negotiated with them. They paid 95.000 £. We estimated that every CT cost 60.000 £ to manufacture. So we were making a lot of money originally. DHSS specified which hospital that the CT-scanners were going into, but they couldn't understand that the hospital had to totally reorganize their radiology work to accept the scanner. Some hospitals said that we don't want it. We don't believe it will get us anywhere. Others said that they didn't accept directions from DHSS, others accepted it and said that they wanted it tomorrow. Others were more realistic and realized that it took four to six months just to plan to accept it and prepare for it."

10. EN SNABBT VÄXANDE BRANSCH - UTVECKLINGEN 1975-77

Omkring 1975 gick datortomografin in i en ny situation, då datortomografi för hela kroppen utvecklades. I detta kapitel berättar vi hur detta gick till och därmed sammanhängande ökande konkurrens för EMI. På bara några år steg antalet företag som utvecklade egna system från några stycken till 15-20. Vi behandlar också den snabba produktutvecklingen och hur utvecklingskostnaderna ökade markant, inte minst för EMI. Perioden 1975-77 präglades också av en stark tillväxt i antalet sålda system.

Den första kroppstomografen

Succén med datortomografin var överväldigande och tillverkare av konventionell röntgenteknisk utrustning började få upp ögonen för tekniken. EMI hade under 1973 börjat leverera de första systemen till USA och mot slutet av 1973 fanns ca 10 stycken installerade och i drift. Samma år dök för första gången beteckningen medicinsk elektronik upp i EMI:s årsberättelse. Det visades att verksamheten omsatte ca 320.000 pund med ett resultatunderskott före räntor och skatter på ca 67.000 pund. Orderingången och leveranserna steg brant, och 1974 svarade medicinsk elektronik för ca 5 miljoner pund i omsättning med ett resultat på 1,2 miljoner pund. (1)

Den första nykomlingen blev doktor Robert Ledley vid Georgetown University, Washington, som med stöd av National Biomedical Research Foundation (2), och ledd av EMI:s framgång, utvecklade en prototyp som gjorde det möjligt att ta bilder på hela kroppen. Denna kallades Acta Scanner och den första patienten blev undersökt den 14/2 1974. Avbildningarna visade på mycket ljusa bilder, som delvis också var överskuggade. De ansågs dock peka mot en lovande framtid för helkroppsdatortomografi. Prototypen bestod i stort sett av en vanlig skulltomograf med större hål som möjliggjorde att patientens kropp kom igenom maskinen. Den hade fortfarande 5 minuters exponeringstid och tog fram bilder av buken med stor oskärpa. Sina idéer till prototypen fick Ledley vid ett besök på Ambrose's klinik.

Den engelska röntgenläkaren Kreel berättar om Ledley's besök på kliniken:

"Ledley, who is said to have developed the first body machine, paid a visit to Ambrose. He sat there for 2 or 3 weeks, or whatever, getting so many ideas as he could. He then went away with those ideas. They had let him come to see the CT-machine, not knowing why he was there, not knowing what he wanted. They did not know that he was going to build a machine. I found that out afterwards, and when they gave me the body machine from EMI they told me that I must be very careful of certain people and I must make quite sure that people only came with EMI's invitation. I must not let anyone in the room. I did that. I know a little about these stories associated with industrial espionage. I was not too surprised." (3)

Siemens, som fram till 1970 arbetat med forskning rörande tomografiska metoder, tog snabbt upp denna forskning igen efter det att EMI presenterat sin datortomograf 1972. I juni 1974 installerades en prototyp av en skulltomograf tillverkad av Siemens vid den neurologiska kliniken vid universitetssjukhuset i

Frankfurt am Main. Den hade begränsade möjligheter genom att lilla hjärnan inte kunde avbildas. Siemens hade också de datatekniska kunskaperna som var nödvändiga. Därmed tog det inte lång tid att realisera och praktiskt genomföra en satsning på datortomografi. Internt tog man ett beslut i slutet av 1973. Utvecklingsarbetet och första konstruktionen tog ca 7-8 månader.

Ett annat företag som tidigt startade utveckling av en skalltomograf var Ohio Nuclear. Företaget, som 1976 omsatte ca 100 miljoner dollar, sysslade primärt med nukleär medicin (förutom bla tandläkarutrustning, rullstolar, kompassutrustning) och ville expandera sitt diagnostiska område, men uteslöt samtidigt konventionell röntgenutrustning från strategin, då detta var en stor och mogen marknad. Datortomografi erbjöd en möjlighet till expansion och vid ett styrelsemöte i februari 1974 ställdes en miljon dollar till förfogande för utvecklingsarbetet. Designarbetet startade i mars, kliniska tester följde efter i november, och datortomografen introducerades i december vid RSNA-utställningen. Ett år senare utrustades scannern med tre detektorer istället för med en. Den blev därmed den första andragerationstomografen. Den första modellen såldes för 385.000 \$, den andra för 525.000 \$. 1976 lanserade Ohio Nuclear en kroppstomograf. (4)

Under tiden hade andra företag startat utvecklingsarbete för att få fram egna system. Bland dessa fanns det franska röntgenföretaget CGR, Philips och Artronix och ett flertal universitet såsom Stanford University och Massachusetts General Hospital hade följt Ledley's initiativ och börjat utveckla egna system. Artronix introducerade precis som Ohio Nuclear sin datortomograf vid RSNA-utställningen 1974. Apparaten var av en ny typ och skulle komma att benämnas den tredje generationen.

En Philipsrepresentant berättar om sitt företags start:

"Philips började vad gäller datortomografi efter det att helkroppssystemen kommit till. I det läget fanns det ingenting att resonera om. Man hade då fått värdefull erfarenhet från CT. Det fanns inget att koncentrera på än helkroppsdatortomografi. Samtidigt hade det kanske inte varit fel att ta utvecklingen i två steg på så sätt att man hade börjat med skallscannern. Emellertid är det en utvecklingsresursfråga också. I Sverige och i övriga Europa kan man inte dra till sig 100 utvecklingsmänniskor på mycket kort tid. Nu kom starka vetenskapliga dokument å att datortomografen var toppen för skallen. Man hade här de medicinska förutsättningarna för att kvickt besluta sig om egen tillverkning. För kroppen har det varit segare." (5)

EMI utvecklar en kroppstomograf

Även EMI hade fortsatt sitt utvecklingsarbete och den 13/3 1975 presenterade de en helkroppstomograf vid en konferens om datortomografi på Bermuda. Den hade en snittid på 20 sekunder och gav för första gången patienten möjlighet att hålla andan under hela exponeringen och på så sätt eliminera andningsrörelsernas störande inslag på bildkvaliteten. Denna modell kallades en snabb andra generationstomograf.

Efter presentationen av datortomografen i början av 1972 sjönk samarbetet mellan Ambrose och Hounsfield till ett minimum. Man körde prototypen en tid utan egen dator, men hela tiden fanns en önskan om att koppla till en minidator och göra systemet självförsörjande. Så skedde också och det fortsatta samarbetet gällde främst att förbättra bildkvaliteten. Vid denna tidpunkt hade Hounsfield i huvudsak flyttat över sitt intresse till utvecklingsarbetet på en kroppsdatortomograf. Han arbetade också på förbättrade bildtagningstekniker, där man övergav de parallella strålarna och ville få fram snabbare apparater, som arbetade utan vattensäck. Detta ledde till den andra generationens skalldatortomograf och även denna prototyp placerades på Ambrose's klinik.

Istället hade Hounsfield på nytt aktualiserat samarbetet med kroppsrontnologerna Louis Kreel och Frank Doyle, som hade legat nere under tiden som prototypen för skallen byggdes. Nya möten startades ute i Hayes för att besluta om lämplig policy avseende datortomografi för hela kroppen. Detta var 1972-73, d v s långt före Acta-scannern producerades i USA, och långt före det fanns några konkurrenter på marknaden. Vid mötena utövade röntgenläkarna påtryckning mot Hounsfield för att få exponeringstiden kortare och göra det möjligt för patienten att hålla andan under hela exponeringen. Detta ansågs vara en avgörande sak för framgång med kroppsdatortomografi och EMI:s forskningsgrupp, under ledning av Hounsfield, lyckades få ner tiden till omkring 20 sekunder per snitt. Detta bedömdes vid denna tidpunkt som en stor framgång med hänsyn till de tekniska förutsättningarna.

Man diskuterade också i detta sammanhang var den första prototypen skulle placeras. DHSS ville ha en eller två i England för klinisk utvärdering. Lämpliga kliniker var Kreels vid Northwick Park Hospital och Doyle's vid Royal Hammer-smith Hospital. Till slut beslöt DHSS tillsammans med EMI att endast satsa på en och lät den gå till Kreels klinik, som bl a hade låtit ett rum i forskningsavdelningen stå tomt under 2 år. Sjukhuset var också större och modernare än Doyle's.

Kreel berättar om de första patienterna i kroppsdatortomografen:

"It is a little bit unclear to me the first patients being examined in our body scanner, and which was the first one. I remember the early ones, and it is all complicated because it is not necessarily the cases I want to do. Already with one of the first patients I realized that CT was going to give a lot of important information, because I could see metastasis on the lung. When I looked back on the chest radiographs I could recognize that they were there, but I could not see as many on the chest radiographs as on CT. What I did realize immediately was that those pictures showed that the metastasis were around the edge of the lung. I was not aware of what had really happened to metastasis. We had in the beginning four small pictures that we had put together. This was the first case where really big metastasis were shown. We could not really see them on chest radiograph. The thing we noticed was that they were all around the edge of the lung. Then subsequently when we did more cases we saw that this was the pattern. Then I looked in the pathology books, and they described this as well. This was the first time we were able to see this radiologically. So the very first case gave unique information.

The second patient was actually a hospital patient. Then, the 7th was a prince from Saudi Arabia and that was a laugh. He had his body guards with him. He had heard that there was a new machine that did a new thing. It was one of these cases with extreme difficulties. There was a lot of pressure about it. There are sometimes political pressures and personality consideration. In those days we had the only real body machine, which made it difficult. Now there are many body machines, so I can just say: 'Go somewhere else. Now I am not interested in this kind of patients.' " (6)

EMI överlät prototypen till Kreel utan kostnad, underförstått att de skulle ha tillgång till den och att man skulle samarbeta i utvärderingen. Besökare från hela världen kom för att ta del av Kreels resultat, vilket höll på under en 3-4 månaders period. Kreel höll under vissa tider 2 föreläsningar per vecka om sina resultat från kroppsdatortomografen. Ralph Alfidi, som till en början experimenterat med in vitro studier av kroppsorgan i en EMI skalltomograf, kom från USA och visade resultat från studier han gjort på en Ohio Nuclear-maskin med en 2-minuters exponeringstid. Skillnaden i kvalitet mellan EMI:s 20-sekunders apparat och Ohio Nuclears blev uppenbar för alla och EMI:s kroppsdatortomograf ansågs som nummer 1 i världen. Det finns fackfolk som menar att egentligen har bildkvaliteten inte förbättrats på något avgörande sätt sedan EMI:s första helkroppsdatortomograf, då de första bilderna höll en mycket god kvalitet. (7)

EMI startade sedan produktionen av kroppsdatortomografer vars konstruktion byggde på prototypen. De två första installerades vid Mayo Clinic, Rochester och Mallincrodt Institute of Radiology, St Louis under hösten 1975.

För att kunna sätta kroppstomografen i produktion krävdes mycket stora resurser från EMI:s sida. Man bedömde att produktionen måste sättas igång så snabbt som möjligt.

Willshir berättar om de nya problem som företaget ställdes inför och hur man fick problem med en del av de system som producerades:

"Hounsfield always thought it was possible to develop CT for the body. When he produced his first pictures of the body in February 1975 they were surprisingly better than they which were taken by the Acta-scanner. We decided to make an announcement that we had body pictures. At a conference of CT for neuroradiologists in March 1975 at the last day of that programme Hounsfield showed his body pictures. They took the world by surprise because they were a year ahead of Ledley's pictures. Massively infront.

When he had shown the picture our people were telling me that it must go a year before we released a system. My comment was that a year mattered tremendously and we had to start production as fast as possible. We set a target of making 40 systems for the body the following years, which we made. The point is that it is quite a different task to produce a body scanner than to produce a CT for the brain. Even if we had so much more skills, the skills needed were so much different. How to have the couch totally different, how to

differentiate between a lesion in the brain and looking through the pancreas of a heavily built person. It was different geometry.

It was great concern for us to rush in to design. We put one team to develop the engineering and one to start to produce the system. Everybody of them were bought on the promise of the Hounsfield's pictures. The cost, 550.000 \$ was no cost for the customer.

In the advent we made a bit of mistakes because the system we made was not as good as the engineering design during the year. We had to go back and rework on the faulty systems. That is the first time during 275 sold machines in three years that we did not make our deliveries at time. 275 systems in three years and then we go and fail on one after the other. Because when we were putting the faulty machines right we were not producing any new machines. We were using the same computer as before but with more detectors and a totally new programme. But the programme was not totally complete. Another problem was to get enough system programmers to help us. We employed on contracts, just 80 soft-ware specialists to get over these very complicated soft-ware programmes. We showed the pictures and announced the system in July 1975." (8)

Trots Acta-scannern, som för första gången applicerade datortomografin för hela kroppen, menade EMI att man även var först med kroppsdatortomografi. Acta-scannern var endast en vanlig skullscanner med ett större hål. EMI var först med att konstruera och bygga en särskilt avsedd scanner som hade en teknik som möjliggjorde god bildkvalitet.

Hounsfield berättar:

"I always thought it should be more useful with CT for the body than for the head. It was a matter of accident that we started with the head because of the time factor. As soon as we had got a scanner for the head I started to work on a whole body scanner. We put forward a number of types of machines. I worked with different types of detector stability. I think that EMI was first with the whole body scanner too. The Acta-scanner, or what it was called Ledley-scanner, was my own machine with a bigger hole in it. It still took 3 minutes to scan a picture. There was nothing in that machine that was different from EMI's head-scanner." (9)

En annan EMI-representant berättar att EMI i viss mån prioriterade skalldator-tomografi till en början:

"This is a question of priorities. EMI was satisfied with the demand for the head-scanner. We first thought we could only do 5-10 machines. It turned out to be 250 machines. That totally absorbed our capacity. The development of body-scanner was there, we just did not give it the relative priority to produce it as a body machine. The job was to produce the head machine. Other companies, starting from scratch, put all the resources into the body machine. They had to come out in some way ahead of us. It was no surprise to us that GE and Ohio Nuclear came out with their own equipment. It was a

new technology and looking at those companies they are enormous. The amount of resources they can put to any project is regardless of sums. I am not trying to be nasty about them, but it is a fact that they can put in research funds greater than our whole turnover. They can do so over a short period. The only surprise was that they took so long as they did in some way." (10)

Datortomografins snabba genombrott

1975 var ett år då många annonseringar om nya utvecklingssteg och modeller gjordes. General Electric kom fram med en mammografiscanner (metod för bröstströntgen) och under hösten med den första tredje generationens kropps-scanner, vilken hade en mycket kort exponeringstid av 4,8 sekunder.

EMI introducerade en andra generations skallscanner vid RSNA-utställningen under samma år, GE presenterade en första generations skallscanner. Pfizer, som är en av de stora amerikanska läkemedelsindustrierna, gick in i branschen genom att köpa licensen till Acta-scannern. Som många andra företag inom läkemedelsbranschen tjänade Pfizer mycket pengar under 60- och början av 70-talet. Företaget hade hela tiden varit ute och sökt efter nya företag att köpa. Man hade en allmän policy att vid expansion inom nya områden, så skedde detta genom förvärv utifrån och inte genom att man utvecklade egna produkter. Philips' nordamerikanska bolag introducerade en andra generationens kropps-scanner. Picker, ett av de stora etablerade röntgenföretagen, visade ett nytt koncept av tredje generationens scanner med en teknik som kallades compound-scanning. Ett annat företag, Syntex, hade till visning en scanner som kunde konverteras från skall- till kroppsanvändning och Varian annonserade en tredje generationens kroppsscanner. (11)

Detta visar på att datortomografikonceptet hade accepterats som ett nytt redskap i den medicinska världen; flertalet stora sjukhus hade möjlighet att anskaffa en datortomograf och att alla stora röntgenföretag, ett par läkemedelsföretag (Pfizer, Syntex) och ett par nukleärmedicinska företag (Ohio Nuclear, Searle och Elscint) hade gått in i branschen.

Alla gjorde dock inte detta på egen hand. Det utvecklades omfattande samarbete mellan exempelvis Ohio Nuclear och Siemens, Pfizer och CGR, EMI och det japanska företaget Toshiba, Neuroscan och General Electric, där i varje fall det förstnämnda företaget supplerade det andra med datortomografer. (12)

Ohio Nuclear hade en överenskommelse med Siemens, som fungerade som agent för marknaderna utanför USA, Storbritannien och Canada. Pfizer distribuerade sin Acta scanner genom Mitsubishi i Fjärran Östern och CGR i Frankrike.

Den starkt accelererande utvecklingen hade inte avslutats, vilket visades på en utställning i Puerto Rico i april 1976, där American Science and Engineering (AS&E) introducerade ett helt nytt koncept med användning av stationära anordningar av detektorer, vilken senare benämndes den fjärde generationen. Andra nykomlingar var det israeliska företaget Elscint, Hitachi, JEOL och Searle, vilket gav ett totalt antal av 17 företag som var involverade i utveckling av datortomografer. JEOL hade en ny princip för scanning, nämligen konceptet om den tredje generationens scanner med en enda detektor över vilken en röntgenstråle sveptes. (13)

Vid en konferens i Bethesda i oktober 1976 visade AS&E kliniska bilder av sitt nya koncept. Den medicinska världen var imponerad över dess potentiella avbildningskvalitet, men också över det låga priset med hänsyn till det stora antalet detektorer. Fler system av den här typen introducerades, av Ohio Nuclear vid en konferens i Miami i april 1977.

Vid RSNA-utställningen i november 1976 visades tidiga försök att avbilda hjärtat med hjälp av den tredje generationens scanner. Resultaten har emellertid hitintills varit dåliga, framför allt beroende på andningsrörelser. Andra försök i den här riktningen utfördes vid Mayo Clinic, där studier gjordes på ett isolerat slående hjärta, och på en hund som roterades runt, på så sätt att 180 graders rotation motsvarade en hjärtcykel. Det spekuleras fortfarande kring möjligheten och nyttan med datortomografi för hjärtat, då det krävs exponeringstider på 30-50 millisekunder. Tekniken kommer att kräva kontrastmedel och inte kunna ersätta invasiva tekniker för hjärtat.

I tabell I visas olika företags inträde på marknaden och lansering av olika typer datortomografer.

Company name	Scanner name	Generation	Application	Min. xantime		1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
				head (sec)	body (sec)	C	A	B	C	A	B	C	A
Siemens	Siretom I	1	brain	300	-								
EMI	Mark I / CT 1000	1	brain	290	-								
EMI	CTR100/CTR100L	1	brain	300	-								
Neuroscan (GE)	CT/N-1,CT/N-2	1,25	head	120	-		Z				A	A	
Pfizer	ACTA 0100	1	body	270	270					C I Z		A	
CGR	Densitome	1	head	240	-						A	A	
Hitachi	CT-H250	1	head	220	-					C I			
Ohio Nuclear	Delta 50	2S	body	150	180					C I			
Ohio Nuclear	Delta 100	2	head	120	-								
Omnimedical	4001	1(2)	head	120	-								
Ohio Nuclear	Delta 25	2S	head	80	-								
EMI	CT 1010	2S	head	60	-								
Syntex	System 60 / 60A	2S	head/body	60	70					C I	Z		
Siemens	Siretom 2000	2S	head	60	-					C I			
Philips	Tomoscan 100	2S	head, spine	45	45						C I		
Hitachi	CT-W	3	body	15	15								
EMI	CT 5005/1 and 1/2	2F	body	20	20								
Pfizer	0200 FS	2F	body	20	26								
CGR	ND 8000	2	head	20	-								
Pfizer	Synerview 12/12A	2F	body	18	18								
Philips	Tomoscan 200	2F	body	16	22								
Ohio Nuclear	Delta 50 FS	2F	body	15	18								
General Electric	CT/M	3	mamma	-	10								
Eiscint	700/800	2F	body	10	10								
JEOL		3	body	10	10								
Arronix	Model 1110	3	body	8.6	-								
Searle	Pho/Trax 4000	3	brain	5	5								
American Science & Engineering	NIH - CT2	3	body	5	5								
Siemens	Somatom	3	body	5	5								
Ohio Nuclear	2005/2010	4	body	5	5								
General Electric	CT/T 7800	3	body	4.8	4.8								
Pfizer	0400	4	body	4.8	4.8								
GE	CT/T 8800	3	body	4.8	4.8								
Toshiba	TCT 60A	3	body	4.5	4.5								
Philips	Tomoscan 300	3	body	4.2	4.2								
Varian	360/3	3	body	3	3								
Arronix	RTX 1120	3	torso	2.4	2.4								
EMI	7000	4	body	3	3								
Ohio Nuclear	2020	4	body	2	2								
Pfizer	Synerview 300/600	4	body	1	1								

I introduction
 C start of clinical application
 P reported start of delivery of prototype
 Z reported start of delivery of zero batch
 S reported start of delivery of series production
 A model abolished

Tabell 1. Olika CT-lanseringar 1971-78. (Källa: X-Ray Scanning, General Information, Philips, 1978.)

Marknadsutveckling

En andra utvecklingsfas inleddes härmed, som varade mellan 1975 och 1978. Den präglades av en snabb tillväxt i antal datortomografer i ett flertal länder. En viktig faktor var att de stora röntgenföretagen under perioden gick in i branschen. Det blev snabbt uppenbart att de amerikanska företagen inte skulle ignorera de potentiella vinster som fanns att hämta i USA. Enbart i Chicago fanns 150 sjukhus och 70 av dem hade 1977 redan anskaffat datortomografer. Ett sjukhus hade 3 stycken. Under tiden 1975-76 gick två väletablerade företag in på marknaden. Ett av dem var General Electric med mer än 5000 människor som helt ägnade sig åt medicinsk elektronik, med en säljkår på 300 personer och 1.200 serviceingenjörer, och med över 300 miljoner dollar i försäljning. Det andra var Ohio Nuclear, med över 2.000 människor inom medicinsk elektronik och 10-12 försäljare och 75 serviceingenjörer enbart för datortomografi. (14) EMI hade som jämförelse 1976 en försäljnings- och serviceorganisation med 273 personer och hade i början av 1975 hunnit leverera ca 160 system i USA, vilket också i stort motsvarade den totala försäljningen i världen. Efterfrågan steg snabbt, och i september 1975 fanns 412 system beställda enbart i USA. När 1975 gick mot sitt slut fanns det i världen totalt 270 datortomografer, varav USA svarade för ca 83-85%. Av dessa var ca 25% för helkroppsbruk.

Fortfarande hade EMI en total dominans, men i USA började Ohio Nuclear visa sig på marknaden och lyckades sälja sina första system. Utmanad av den begynnande konkurrensen beslöt EMI att bygga ut sin amerikanska organisation med en total kapacitet även tillverkningsmässigt. Inom 8 veckor anställde EMIs dotterbolag 800 personer inom tillverkning, service och försäljning för sitt medicinsk-tekniska system. Mellan åren 1974 och 1975 fyrdubblades omsättningen inom medicinsk elektronik upp till 20,5 miljoner pund, vilket genererade en vinst före räntor och skatter på ca 9,2 miljoner pund. (15)

Den totala dominansen för USA följde på en medveten satsning från företaget. Allmänt sett bedömdes USA-marknaden vara mer receptiv. Datorteknik hade slagit igenom snabbare här, vilket även gällde TV-teknik. Avgörande var emellertid det amerikanska sjukhussystemet med en betydande andel privat-sjukhus, som gjorde det möjligt att marknadsföra tekniken direkt gentemot dessa utan att behöva gå över långsamma och byråkratiska beslutsfattare. Det fanns möjligheter att ställa patienten inför en valsituation mellan en plågsam luftskalle eller angiografiundersökning eller att betala mer och få en säkrare och mera behaglig undersökning. Datortomografi kunde man bedöma som en investering som skulle återbetalas på ett visst antal år.

1976 och 1977 var två mycket expansiva år, då antalet sålda system steg till respektive 730 och 1390, med en USA-andel på respektive 73% och 63%. Nu började också betydande marknader utkristallisera sig utanför USA och andra företag än EMI tog viktiga marknadsandelar. Fram till och med 1977 hade EMI:s andel successivt sjunkit till ca 50% och Ohio Nuclear svarade för ca 23%, mest beroende på att man tidigare än andra företag lyckades få fram egna system och genom att EMI inte kunde producera så snabbt som marknaden efterfrågade. Liksom EMI koncentrerade Ohio Nuclear på USA-marknaden med undantag för de system som såldes på licensbasis av Siemens i Europa, då främst i Västtyskland, Holland och Belgien. Andra betydande företag var Pfizer som 1976 hade en andel av 9% av placerade order och GE som 1976 tog hem ca 32% av alla order i USA, men levererade enbart ca 10 system under året. Det

japanska Hitachi hade samtidigt snabbt byggt upp en betydande position på sin hemmamarknad.

Japan hade utvecklats till den klart största marknaden utanför USA, och hade 1977 ca 230 system. Förutom Hitachi sålde EMI tidigt ett betydande antal skalltomografer i Japan via Toshiba och GE hade en begynnande framgång under framför allt 1977.

Toshiba var det enda företag som köpte licens av EMI. Till en början fungerade Toshiba enbart som agent åt EMI. Samtidigt utbildades företagets tekniker och marknadsförare och fick hos EMI lära sig datortomografi. Licensavtalet utvidgades senare och Toshiba började producera egna datortomografer.

En person inom EMI:s företagsledning berättar:

"Toshiba finally licensed the CT idea to produce it. All the Japanese companies, even before Toshiba, were involved in negotiation but nobody bought patent. Toshiba licensed the CT as full distributor and we taught them all about scanners. They paid for the know-how. Then they licensed for assembly and test, when we shipped complete units to Japan and they put them together and transported them to the customer. At last they bought a full license to produce scanners. They typically as Japanese, only produced one identical to ours and then they improved on it massively so the scanner they produced for the brain was half the cost because they had a general processor instead of three computers and larger disks for storage." (16)

I Europa började också ett betydande sug efter tekniken uppstå med en total försäljning 1977 på cirka 230 stycken. Starka marknader var Västtyskland och Benelux-länderna, men systemen var fördelade över hela Europa. Den västtyska marknaden ansågs som en av de lättare, med en stark ekonomi tillsammans med privata läkare som hade personligt intresse av röntgenundersökningar, då de fick ersättning för varje utförd undersökning. I Västtyskland fanns inget krav på att man skulle vara röntgenläkare för att få använda datortomografi, vilket var fallet i exempelvis Storbritannien och Sverige. Majoriteten av de europeiska länderna hade också väl utvecklade röntgendiscipliner med betydande forskningsintressen.

Ett kraftfullt undantag var den franska marknaden, som redan från början visade sig mycket svår för EMI och andra företag att penetrera. Frankrike anses vara en speciell marknad med omfattande regleringar från myndigheternas sida.

En holländsk representant för Searle berättar om den franska marknaden och betonar det allmänna inslaget av regleringar och stöd åt inhemsk industri:

"I Frankrike är det lite speciellt, här har vi "the nature of the French people". Här har man restriktioner mot allt. Staten har alltid haft ett stort inflytande på den lokala industrin. Exempelvis förekommer väldigt lite utländska datorer i Frankrike. Dessa skall vara av inhemsk tillverkning. Samma sak har skett vad gäller CT-utvecklingen. I hela Frankrike finns idag endast 3 CT-scanners. Dessa har kommit in genom olika försök att "bend the law". I Frankrike finns det statliga bolaget CGR som har sagt sig kunna ta

fram en CT-scanner. Detta bolag skyddas av regeringen och under tiden kan inga CT säljas i Frankrike. En parallell utveckling är den inom gamma-tekniken. Här var det relativt enkelt för myndigheterna att begränsa användning av isotoper. Man kunde här tillgripa hitintills använda metoder. I Frankrike beslöt regeringen redan 1968 att på något sätt begränsa tillväxten vad gäller antalet gamma-kameror. Man utgick från antalet departement och distrikt plus befolkningsstorleken och kom fram till ett behov av ca 120 gamma-kameror och en tillväxt av 8 per år. 1978 kom vi upp till 120 stycken. Detta innebär att folk inte längre får tillstånd till fler kameror. För anskaffning måste man på något sätt bryta mot lagen. Den enda marknad som återstår är 4-5 kameror för ersättningsändamål. För tillstånd måste man nu gå igenom byråkratin och hitta någon budget som kan täcka in en anskaffning eller på annat sätt hitta några pengar." (17)

En svensk representant för GE om den franska marknaden:

"Det är en utmaning att komma in på CT-marknaden i Frankrike. Detta gör man genom att direkt söka upp intresserade sjukhus och låna ut utrustningen till klinikerna. Något förbud finns ju inte, utan det gäller istället att man inte får tillgång till statsbidrag utan tillstånd vid köp av CT-utrustning. Vi har levererat utrustning på det här sättet, och när man sett att det fungerar bra och att ingen lokal leverantör finns, har man sålt något enstaka system. Det franska bolaget CGR har tagit fram en egen skallscanner som varken är bättre eller sämre än andra." (18)

I datortomografins hemland, Storbritannien, utvecklades marknaden relativt övriga Europa sakta till ca 35-40 system år 1977, där det övervägande antalet var skalltomografer. DHSS hade genom sin centrala roll verkat tillbakahållande på marknadsutvecklingen. I Storbritannien skedde en betydande del av inköpen genom DHSS' försorg och sjukhusen var oftast beroende av centralt stöd eller att få privata fonder att satsa pengar, en väg som utnyttjades av ett flertal sjukhus till en början. Samtidigt var det svårt att få medel till driften av systemen och flera sjukhus fick avböja erbjudande om fondmedel just p g a att man inte kunde betala driften ur egen budget.

Willshir inom EMI berättar:

"After DHSS had bought 21 scanners the next ten headscanners were not bought by DHSS. I negotiated with philanthropist, wealthy men, to donate them. The same later with all but five bodyscanners in this country. DHSS told me in 1976 that they would not purchase any bodyscanner at all. We talked to charity sources instead. Even the few they purchased has all been for special jobs, like a new one for Isherwood in Manchester. In every instance the money has been found by radiologists. It has been collected from funds, by local organizations who have negotiated with us and we have in certain times helped them to find the money. We have also told some hospitals that they should not buy any CT. That is hospitals with no neuroradiologists." (19)

Datortomografins förfining

Den vidare förfiningen av datortomografen har gått snabbt. Man har på relativt kort tid fått ner exponeringstiden för varje snitt från flera minuter till ett par sekunder. Vidare har man uppnått en mycket högre driftsäkerhet och förenklat manövreringsarbetet för röntgenassistenterna. Genom bl a ett ökat antal detektorer och bättre tekniska lösningar har man successivt fått fram bättre bildkvaliteter. (20)

Den andra generationen

Det finns en liten skillnad mellan första och andra generationen. Istället för en detektor använder man ett antal sådana placerade inom ramen för en liten vinkel på strålnippet. Under en translation får man lika många delprojektioner som det finns detektorer. De tas upp i olika riktningar simultant. På detta sätt utnyttjas röntgenstrålningen bättre genom mindre avbländning.

Tredje generationen

Den tredje generationen är däremot en komplett ny typ av scanner. Translationsrörelserna är eliminerade, och vinkeln som täcks av detektorerna är så stor att den tar med hela kroppen. Denna typ av scanner använder ett stort antal detektorer. Dess antal har successivt ökat och kan i vissa fall uppgå till mer än 1.000 stycken.

De principiella skillnaderna innebär att en andra generation scanner inte kan uppdateras till en tredje generation. Denna barriär och det faktum att den tredje generationen medförde en del svåra problem i utvecklingsarbetet fick till följd att vissa företag, som var ute tidigt med andra generationsscannern, inte ens 1977 börjat utvecklingsarbete för tredje generationen. Bland dessa företag fanns EMI, Ohio Nuclear, Pfizer och Elscint. Andra företag övergav utvecklingsarbete kring tredje generationen och gick tillbaka till andra generationen. Detta gällde för Syntex och Picker. Ett antal företag begränsade sin tillverkning till tredje generationsscannern. Bland dessa fanns Artronix, Searle, Varian och General Electric. Det fanns också företag som tillverkade både andra och tredje generationsscannern. Exempel på detta är Philips och Siemens. För Philips del utvecklades generationerna samtidigt, den ena i USA, den andra i Holland, och Siemens utvecklade första och andra generationerna endast för skalltomografen. (21)

En fördel med en vidare vinkel var att mer röntgenstrålning utnyttjades. Fördelen med kortare scanningtider gjorde det möjligt att använda rör med roterande anod. Detta i sin tur medgav en pulsering av röntgenstrålarna, vilket var en fördel i syfte att minska stråldosen och rörbelastningen.

En fördel med den andra generationen var att man kunde ta mindre områden med kortare avstånd mellan röntgenrör och patient. Detta var till en början inte möjligt med den tredje generationen. Problemet löstes av Philips som utvecklade en metod för geometrisk förstoring. Detta innebar att röntgenröret kunde flyttas närmare objektet. Ett särskilt problem med den tredje generationen var dess känslighet i skillnader mellan närliggande detektorer. I närliggande områden på det undersökta objektet fick man med de olika detektorerna en del oegentligheter i bilden som gick under namnet ringartefakter.

Hur datortomografin marknadsförs

I sin marknadsföring närmade man sig olika länder på olika sätt beroende på röntgenprofessionens karaktär och system för anskaffning av dyr utrustning inom sjukvården. Det blev snabbt nödvändigt att bygga upp lokala försäljningskårer i olika länder så att man kunde adressera marknaderna på ett riktigt sätt. Speciellt i USA säljer man direkt till enskilda sjukhus, medan man i Storbritannien i större omfattning säljer genom DHSS. Det förekommer också marknadsåtgärder direkt gentemot sjukhusen. Sättet varierar från region till region, beroende på hur aktivt DHSS är. I vissa områden köper DHSS centralt in datortomograferna och allokera dem till sjukhusen. Då kan i många fall interna rivaliteter mellan sjukhusen uppstå och företagen låter då DHSS bestämma hur fördelningen skall ske, vilket gör det möjligt att upprätthålla goda relationer med alla sjukhusen.

Varje land har sin egen karaktär. I Västtyskland finns en mycket stark Siemensdominans som gör det svårt för andra företag att slå sig in på marknaden. I Holland finns en motsvarande dominans för Philips och i Frankrike för CGR. Dessutom präglas situationen i Frankrike av politiska hänsyn gentemot den inhemska industrin. I Mellanöstern och i Bortre Asien finns mera tendenser till korruption, där det är viktigt att lära känna de rätta personerna och att förvissa sig om att de talar för ens sak, snarare än att nödvändigtvis vända sig till de enskilda sjukhusen. Japan, åter, präglas av en affärsorienterad hållning med en positiv inställning till teknologi inom sjukvård. Här är det viktigt att snabbt få kontakter med lokala distributörer. EMI lyckades snabbt sälja 120 datortomografer genom licensavtal med Toshiba.

Ett gemensamt drag är att man i första hand attackerar stora och välrenommerade forskningskliniker, som Mayo Clinic och Mallinckrodt Institute i USA eller Karolinska Sjukhuset i Stockholm. Dessa används sedan som referenser vid spridning av tekniken till andra sjukhus.

I marknadskontakterna spelar olika symposier stor roll. Det internationella radiologmötet i Chicago varje höst, det s k RSNA-mötet, är ett använt medium för att presentera nya produkter. Man använde sig också av detta tillfälle för att föra fram datortomografin.

Willshir berättar om de viktigaste marknadskanalerna:

"The big exhibitions, RSNA in Chicago, and Brussels, is very important. It is important to be visible with the latest systems even if it is a work in progress. It is important to show the first scans, the first pictures, something that shows that you are in the progress.

It is vital, absolutely vital, to be in contact with the opinion makers and the decision makers. In daily contacts by mailing, publishing professional papers, but not so much by advertising the machine systems. More to invite your customers to hospitals and for them to see and handle the machines. It is almost all the same in all countries."

Tillverkarna hävdar att man haft stor konkurrens på marknaden. I ett inledande skede, då företagen var måna om att komma in på olika marknader, arbetade

man mycket med olika slags utlåningsförfaranden. Exempel på detta är Karolinska Sjukhuset, som fick låna en datortomograf av General Electric under en 2-års period. Likaså hyrde man ut på korttidskontrakt. Ett annat inslag i inledningsskedet var att man medvetet tog förluster på sin försäljning. För flertalet nya företag var det mycket viktigt att snabbt komma in på marknaden, och man var därmed beredd till vissa initialförluster. I ett senare skede har konkurrenterna mera gått över till att visa på de anläggningar som man har i drift. Tillförlitligheten hos dessa spelar då en stor roll. Ett ytterligare inslag i konkurrensen har varit att man erbjudit en mycket omfattande service. EMI hade till en början för varje datortomograf 2 serviceingenjörer för installation och 1 ingenjör som på heltid skötte service under 3 månader efter installationen. Till detta kommer särskilda röntgenassistenter som utbildade röntgenpersonal på den nya tekniken.

Olika företag har också försökt hitta speciella variationer i sina system, som de kunnat peka på. Exempelvis utvecklade Philips tidigt det så kallade scannogrammet, där man får fram en helkropps bild genom att patienten sakta åker genom scannern samtidigt som exponering sker. Röntgenläkaren använder den för att bestämma vilka snitt som skall exponeras. Detaljen fick ett mycket gott mottagande hos läkarna, då scannogrammet för läkaren innehåller mycket information. Scannogrammet utnyttjade Philips till en början i marknadsföringen. Senare har flertalet andra företag också möjligheter till scannogram på sina datortomografer, även om de har andra benämningar. Från Philips sida pekade man också på att dess datortomograf var mindre samtidigt som den hade lika stort hål i scannern som övriga fabrikat. En annan faktor som förts fram av Philips är ett rörligt patientbord. Ytterligare en faktor är driftsäkerheten, som är viktig eftersom flertalet sjukhus måste behålla sin utrustning under lång tid. Ett enkelt skötselsystem för röntgenassistenten, för att man skall uppleva datortomografen som en röntgenapparat och inte som en dator, är ytterligare ett inslag i marknadsföringen. Man betonar från Philips möjligheter till förstoring. Det är möjligt att flytta röntgenröret närmare patienten vid små objekt, och på så sätt använda strålningen effektivare. Detta ger en bättre upplösning i bilden. Förstoringsmöjligheter är Philips ensam om på marknaden. Det pågår också löpande en kamp om antalet detektorer i systemet eftersom bildkvaliteten stiger i takt med antalet detektorer.

Bildkvaliteten är just ett av de viktigaste konkurrensmedlen. General Electric och Pfizer betonar starkt denna faktor. General Electric hävdar att deras helkroppsdatortomograf ger lika fina bilder på skallen som vilken skalldator-tomograf som helst. Flertalet övriga helkroppstomografer hade, åtminstone fram till 1979/80, sämre bild för skallen än för kroppen. På senare tid har också möjligheten till dynamiska bilder börjat spela en roll. Man kan genom ett antal snabba snitttagningar efter varandra följa ett förlopp, t.ex. när man sprutar kontrast. En annan möjlighet är att följa bukorganens rörelser. Användningen av datortomografin som ett terapeutiskt hjälpmedel betonas också. Ett exempel är för dosplanering vid strålbehandling av tumörsjukdomar. Man kan också använda den som ett planeringsinstrument vid operation.

GE pekar på sitt modulsystem, som innebär att man vid successiva produktförbättringar inte behöver byta ut hela systemet, utan kan löpande hålla detta à jour med utvecklingen genom begränsade byten. Andra företag, såsom Siemens, har pekat på att deras datorsystem har möjliggjort bild direkt efter expo-

neringen, och att man därmed slipper att vänta upp till en minut mellan varje snitt, som på andra firmors system. (22)

Ett ytterligare viktigt konkurrensmedel är de olika företagens namn. EMI levde till en början mycket på sitt namn och på att man tidigt kom ut med ett stort antal system som fungerade någorlunda tillfredsställande. Detta pekar andra företag på som en viktig faktor till att EMI ända fram till 1979 var så pass stora på marknaden. Röntgenföretagen hade en fördel i sina nära relationer med röntgenprofessionen, vilket Philips utnyttjade vid försäljning av helkroppsdator-tomografer till Lunds lasarett. Man kunde sälja med stöd av sitt goda namn och innan man hade någon prototyp färdig. Däremot hade läkemedelsföretag som Pfizer vissa svårigheter i början, då många röntgenläkare menar att man inte vågar satsa på företag som för dem är okända. Vidare spelade priset en viss roll i marknadsföringen, men var inte av någon avgörande betydelse.

När datortomografin lanserades hade röntgenföretagen som bas olika satsningar på de traditionella röntgenmetoderna. Det är dyrt att bygga upp särskilda marknadsresurser för datortomografi. Man utnyttjade de som redan existerade. Man satsade därmed starkt till en början i länder där en marknadsorganisation redan fanns.

I takt med att olika företag utvecklade egna system minskade marknads-samarbetet mellan dem. Gemensamma utvecklingsprojekt tycks inte före-komma. Samarbetet på utvecklingsstadiet sker istället mellan företag och röntgenkliniker. Däremot köpte flertalet företag successivt licensrättigheter av EMI. Det har också förekommit en viss omfattning av patentintrång. EMI inledde vid slutet av 1970-talet ett åtal i USA mot Ohio Nuclear och planerade åtal mot GE för patentintrång, men det drogs tillbaka efter förlikning.

Flertalet tillverkare av datortomografi ingår i stora koncerner som inom den egna organisationen har tillgång till olika kunskaper. Företag som Philips och Siemens har internt tillgång till datorexpertis. Man köper från systerföretag de resurser som den egna divisionen kan sakna. Inom Philips har man en policy att tillverka alla delarna själv. Det enda undantaget var att man köpte en snabb rekonstruktionsdator från ett företag i USA. Detta gjorde även Siemens. Däremot förekommer sällan något samarbete produktmässigt mellan olika röntgenföretag. Man kan oftast inte köpa varandras delar, då de är special-tillverkade för de egna systemen. För vanlig röntgenutrustning köper Philips ett fåtal filmväxlare för insättning i angiografisystem.

Starkt begränsat samarbete mellan röntgenföretag har förekommit på lokala och udda marknader, där företagen supplerat varandra med utrustning i de fall där man inte har byggt upp egna marknadsorganisationer.

En företagsrepresentant berättar om samarbetet:

"In one sense we had market cooperation in the Far East with GE because they have no CT involvement there. Generally speaking we have some market cooperation from time to time. In one hospital where Philips were bidding for the whole hospital equipment and at that time did not have their own scanner we provided them with one of ours. CGR had one similar in the Far East. In general it is on an exceptional basis rather than normal as supposed to patent and

licensing arrangements which we have from time to time. That is on a legal more than on a commercial basis." (23)

Utvecklingssamarbete mellan röntgenföretag och röntgenprofession

I utvecklingen av datortomografin spelade kontakten mellan företag och röntgenprofession en stor roll, ett fenomen som har stöd i en lång historisk tradition. Vid marknadsföringen har också denna nära relation stor betydelse. I ett flertal länder har nya röntgentekniker utvecklats i samverkan mellan industrins tekniker och röntgenläkare. I Sverige samarbetade Forssell och Lysholm med industrin, där den senare röntgenläkaren fått ge namn åt ett skullbord. Röntgenföretaget Elema-Schönander byggdes upp med stöd i en sådan samverkan och utvecklades till det kanske ledande inom angiografisk utrustning. Det köptes sedan upp av Siemens, blev Siemens-Elerna, och utgör idag basen i Sverige och har fortfarande en viktig roll i utvecklingen av ny angiografisk utrustning. Dess roll är dock inte lika central som tidigare, då Siemens i huvudsak lagt sin forskningsbas i Västtyskland.

På samma sätt har amerikanska företag utvecklat samarbete med röntgenologer i USA och Philips med röntgenologer i Västtyskland och Holland. I Storbritannien fick man inte förrän i samband med datortomografin någon djupare tradition för samarbete i utvecklingen av ny röntgenutrustning och någon egentlig brittisk röntgenindustri existerade inte förrän EMI etablerade en medicinsk division.

En engelsk röntgenläkare berättar om sin syn på utvecklingssamarbete och betonar Sveriges gamla traditioner inom detta område:

"It is the Swedish tradition to cooperate with X-ray firms in developing new technologies. In Sweden radiologists were intimately involved with the manufacturing firms in generating new technologies and more advanced technologies. It was not that we in England did not have people with ideas because filmchangers were to my knowledge made at a very crude way in this country but one could not sell the idea to any British manufacturer and it was the Swedes who took up and introduced the first filmchangers. The first demonstration of filmchangers was actually at our congress in England in 1950, before my time. So we did not have this intimate link as Sweden between industry and X-ray profession. The last time I was in Sweden the older generation of radiologists was complaining that this was a link that was less important than it had been.

We have never had in this country, not in the last 15 years, any particularly strong X-ray industry, by comparison with West Germany with Siemens and Holland with Philips. It was not an industry in England until now. There has never been invested enough money in our research and development to make the impact that Philips got with their intensifier and Siemens with its superb mechanical engineering. I think that the relation between X-ray profession and X-ray industry is very important. I think this was an important factor in the development of the Swedish radiology where the technology was developed by Schönander. The dialogue between

consumers and producers was an important factor in the history of Swedish radiology, I think." (24)

Flertalet företag har byggt upp kontakter med ledande röntgenläkare och röntgenkliniker. Man söker samarbete med kliniker som har vetenskapliga meriter och gott anseende forskningsmässigt.

Exempel på samarbete är EMI:s med Mayo Clinic och St Louis Hospital i USA samt i England med universitetssjukhuset i Manchester och sjukhuset Royal Master. På samma sätt har Siemens sökt samarbete med universitetssjukhuset i Frankfurt am Main och Philips med ett antal stora sjukhus i främst Holland och Västtyskland. För de europeiska företagen börjar dock USA få en växande betydelse. GE samarbetar främst med ett antal universitetskliniker i San Francisco, men försöker även bygga kontaktnät i andra länder. I Sverige hade GE vissa kontakter med Karolinska Sjukhuset i Stockholm, i en utvärdering av datortomografin.

Det finns ett flertal sätt för företagen att få kontakt med röntgenprofessionen. Man träffas genom olika utställningar och symposier och flertalet företag är med i den svenska radiologföreningen. Läkarna vet vidare att industrin har stora resurser bakom sig och har man idéer går det inte gärna att sätta igång i egen regi utan man tar kontakt med något företag. Industrin utnyttjar också läkarna för att få svar på vetenskapliga frågor, vilket oftast sker på informella vägar vid kongresser. Dessa spelar över huvud taget en stor roll och är i huvudsak av två slag.

Dels anordnar industrin egna arrangemang, där föreläsare med olika erfarenheter presenterar sina forskningsrön. Man bjuder in läkare från olika områden. Vid sådana kontakter kommer många läkare för att lyssna. De hålles i form av 1-2 dagarsseminarier, som delas upp i en föreläsningssedel och en diskussionsedel. Det blir på så sätt ett givande och tagande, där produktionsidan kan leverera synpunkter på vad man kan ge sjukhusen i form av tekniska hjälpmedel och på samma sätt får industrin impulser från läkare till vad man vill ha av tekniska förbättringar på sjukhusen.

En andra kontaktform är av läkarna själva organiserade stämmor och symposier av olika slag. Även här är gästföreläsare inbjudna. Oftast förekommer särskilda utställningar från olika firmor, som hyr in sig på ett litet utrymme. Den svenska årliga läkarstämman i december är ett exempel. Symposierna har också ofta röntgenföretag som sponsorer. Även här får industrin kontakter med läkare och kan visa vad den har att erbjuda.

Inom företagen finns djupgående tekniska kunskaper, bl a inom bildproduktion. När det gäller manöverutrustningens utseende, patientberörda delar och den kliniska användningen har företagen begränsade kunskaper och behöver någon som kliniskt kan prova nya tekniska idéer. Nya processer måste i betydande omfattning styras från röntgenläkarnas sida. I stor utsträckning sker därför utvecklingsarbetet som ett växelspel mellan företag och läkare.

Eventuella uppfinningar av röntgenläkare köps upp och vidareutvecklas av företagen. Från idéstadiet utvecklas successivt en prototyp. Denna provas i kliniskt bruk vid olika framstående kliniker. Utifrån dessa erfarenheter sker sedan det vidare utvecklingsarbetet. I vissa fall förekommer direkta kontrakt

relationer, som kan ge läkarna ekonomisk gottgörelse, men i flertalet fall sker kontakterna på informella vägar. Belöningen för läkaren består i att han får tillgång till den modernaste utrustningen och möjligheter att bedriva ett professionellt utvecklingsarbete. Samtidigt har olika framstående kliniker unga läkare som håller på med doktorsutbildning och därmed kan utnyttja sådant forskningsarbete i sin karriär.

En representant för EMI berättar om hur företaget byggde upp kontakter med läkare:

"We have formed a group called the Trialists group which in this country was a group of about the 6-8 most senior radiologists. We asked them to do certain experiments for us, try out new equipment and that sort of thing. We also had regular meetings once every 3 months. We asked them to report back on their studies and also to give us their ideas on where else we should develop equipment. We have maintained this connection with these trialists on a fairly informal basis. We now know that we have a contact if we need to ask a question. We know how to ring up and say: 'Look, we are thinking of doing this. What is your reaction?'"

These doctors, if they are out to try new equipment they will get research equipment. If they do not like it, they tell us pretty soon. If they like it, they will keep it and normally we let them have it at reasonable price. We have also in some instances research fellowships and financial arrangements. In some hospitals we sponsor training physicists who are studying for PhD or that sort of thing. We also sponsor these doctors at certain times to go to give a paper at a big congress and we will pay the fare and hotel bills. In this way they can get recognition or exposure and visibility of their work. One of the major things that has led to the growth of CT is the speaking and presentation at different congresses. There are not very much direct payment, just one or two get small nominal sums but there is very little direct payment for services. Normally payments in terms of helping them publishing a paper, helping to get the photographs they require for their lecturing." (25)

En medlem av utvärderingskommittén inom DHSS, Louis Kreel, berättar om varför han engagerade sig i utvecklingsarbetet:

"For me it was natural to engage in the CT-idea. Because I had been the kind of person that had been engaged in new techniques in radiology for as long as I can remember. In this country I thought that lymphography was very important when not too many people were doing it. I was one of the first people to do selective arteriography with new cateters and made my own cateters for this purpose. 1963 we were among the first to do arteriography for liver lesions. Subsequently, I was one of the first to introduce double-contrast barium examinations to this country. When I went to Japan and saw the Japanese technique, I introduced that to this country. So I had a background of trying new techniques and not being frightened of new techniques. When I had the opportunity to become

involved with a new technique I did so. For me it was quite natural what it was all about." (26)

11. DATORTOMOGRAFIN MÖTER SVÄRIGHETER - UTVECKLINGEN EFTER 1977

Perioden efter 1977 innebar en marknadsförändring. Den snabba marknadsutvecklingen och tillväxten i antal företag som satsade på datortomografi planade ut. I detta kapitel behandlas denna utveckling, hur den skapade svårigheter för EMI och innebar inledningen på en marknadssanering.

Stagnationstendenser

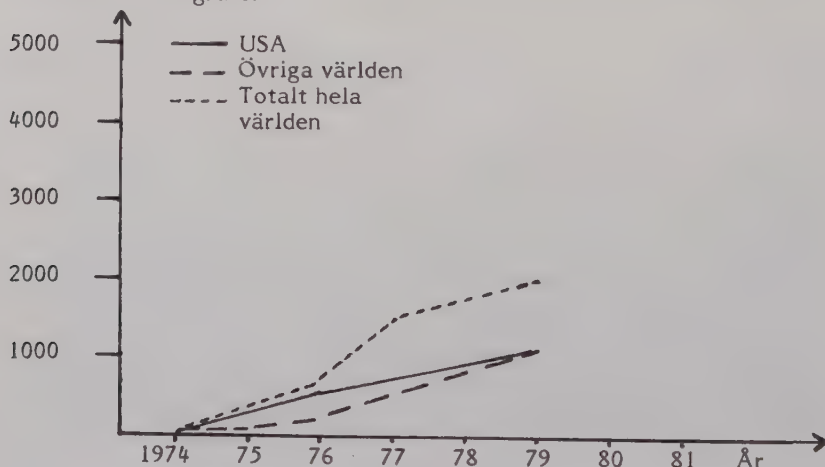
Marknaden för datortomografi ökade snabbt fram till 1978. Vid årsskiftet 1977/78 hade omkring 1.000 helkroppstomografer och 800 skalltomografer sålts. Av dessa fanns respektive 730 och 400 i Nordamerika. I Europa fanns 150 för skallen och 175 för kroppen.

I tabell 1 visas antal **installerade** datortomografer under åren 1974-1981 i världen utom öststaterna. I figur 1 har en grafisk illustration getts till tabellen.

År	USA	Övr. världen	Summa	Andel helkropp
1974	60	0	60	0 %
1975	225	45	270	26 %
1976	530	200	730	32 %
1977	870	520	1390	46 %
1978	1130	870	2000	55 %
1979	1360	1290	2650	-
1980	1630	2000	3600	-
mars 1981	2000	2500	4550	-

Tabell 1: Ungefärligt antal installerade datortomografer, hela världen utom öststaterna, 1974-1981.
(Sammanställning gjord inom Siemens Elema, Sverige samt EMI)

Antal datortomografer



Figur 1: Grafisk illustration av antal installerade datortomografer, hela världen utom öststaterna.

Inom branschen uppskattades en försäljning på uppåt 1000 anläggningar under 1978, medan det verkliga utfallet blev cirka 500-600 system. En viss ökning inträffade dock under 1979.

Den främsta anledningen till att försäljningen sjönk så kraftigt var att Carter-administrationen införde regleringar. Till en början avsåg de att man inte fick anskaffa utrustning som kostade mer än 100.000 dollar utan tillstånd. Regleringen byggdes sedan ut med ett system där man för att få ersättning från offentliga försäkringssystem för datortomografiundersökningar måste ha ett underlag på minst 2.500 patienter per tomograf, en regel som fick effektiv efterlevnad. I Holland infördes en reglering i form av ett tvåårsmoratorium för köp av datortomografi, och i Västtyskland började man se mättnadstendenser och införde under 1979 en bestämmelse att undersökande läkare måste ha minst sex månaders erfarenhet av metoden för att få ersättning från försäkringskassa. Man hoppades därmed dämpa entusiasmen hos privatläkare för att skaffa egna datortomografer. (1)

Den franska marknaden var redan från början reglerad och i Belgien instiftades en lag för tung utrustning (la loi de lourde) som medförde begränsningar i möjligheterna att anskaffa dyr medicinsk utrustning. En följd blev att tillverkare av datortomografer och gammakameror fann metoder att kringgå regeln och försökte bli delat upp systemen och därmed få in dem under driftsbudgetanslag.

En person inom EMI:s medicinska division berättar om regleringen i USA:

"There was a tremendous pressure on Carter on the strain of free health care and his original concept was that if you restrict the level of the amount of caring for treatment in hospitals you will create money to use for other people. He put limitation on the purchase on equipment that would cost more than 200.000 dollars. This was reduced first to 100.000 dollars and then to 50.000 dollars in two years. He also appointed a bureaucratic structure to assess any application for the equipment above 50.000 dollars. Therefore ultrasound was strategically prized, as it was under 50.000 dollars. A certificate of need were to be assigned to a special purchased. This very effectively restricted the purchasing. The bodyscanners were not on the list of approval at all. Just ordinary X-ray equipment.

On the other side one can say that it was scandalized from certain hospitals to take 250 dollars for a CT-examination when you knew that it only cost 60 dollars. The Japanese put a limit to 60 dollars per examination and the Australian put 50 dollars as limit per examination." (2)

Flertalet företag drabbades hårt av den plötsliga regleringen i USA. Antalet beställda och sålda enheter sjönk från ca 480 system 1977 till ca 240 under 1978. Hårdast drabbad blev EMI genom sin stora andel i USA och avsaknad av en marknadsorganisation för andra länder. I USA krympte marknaden till endast ett litet antal privatsjukhus och privatläkare som inte var beroende av det offentliga försäkringssystemet.

För EMI förstärktes nedgången genom att konkurrenterna lanserade system som möjliggjorde snitttagning på 3-4 sekunder, medan EMI:s kroppstomograf av den andra generationen tog 20 sekunder per snitt. EMI förlorade marknadsandelar, främst i USA, och fick inrikta sig på Europa och blev samtidigt tvungen till att dra ned produktionen och satsa på ett omfattande utvecklingsarbete i syfte att få fram ett konkurrensdugligt fjärdegenerationssystem. Forskningsresurserna för att utveckla det nya systemet uppgick till ca 12 miljoner pund per år. Inom den centrala forskningsenheten i England arbetade 30-40 personer inom medicinsk-teknisk forskning, de flesta med datortomografi.

Till skillnad från de första och andra generationerna utvecklades denna nya datortomograf vid EMI:s nystartade amerikanska dotterföretag utanför Chicago. Samarbetet med den centrala forskningsenheten i England var sporadiskt och utvecklingsarbetet tog längre tid än beräknat, uppåt ett år, vilket medverkade till att EMI:s försäljning sjönk kraftigt.

Från 1977 års mycket goda resultat inom medicinsk elektronik sjönk omsättningen med en tredjedel till 66,5 miljoner pund och ett positivt resultat före räntor och skatter av 14,7 miljoner vändes till ett negativt på 13,2 under 1978. Den negativa utvecklingen fortsatte under 1979, då omsättningen ytterligare sjönk och var nu nere på 43,7 miljoner pund och man noterade ett negativt resultat på 12,8 miljoner pund. (3)

En EMI-representant kommenterar marknadens stagnation och menar att nedgången var väntad:

"The market for CT was limited, we were sure about that. It is a question of nations. We obviously saw a finite market, but until 1977 the US market was enormous. It was a very steep slope to start with. Nobody believed that it should carry on so steep. It was purely a question when it would level off. I saw that the American legislation was one of the things that were bound to happen. We had seen that the real next markets were worldwide rather than in the US. So it was for us to gear up for that. Probably the legislation in the US came a year sooner than we had expected. A year too soon for being ideal and it hit everybody very hard." (4)

Totalt sett har lönsamheten i branschen varit mycket dålig och knappast något företag har tjänat pengar. Branschen präglades istället av ett stort antal företag som snabbt etablerade sig och som alla kämpade för att få fotfäste på olika marknader, vilket inte minst har gällt Sverige, där alla velat komma in p.g.a röntgenprofessionens goda rykte. Priserna har genom hård konkurrens hållits nere och i flertalet företag är inte ens utvecklingskostnaderna betalda. Branschen var under åren 1977-81 överetablerad och det visade sig att det inte fanns utrymme för ett flertal parallella serviceorganisationer på olika marknader. Överkapaciteten är svår att bedöma, men den låg en bra bit över försäljningsvolymen. I USA arbetade många företag med underleverantörer och det är därför svårt att se hur stor den totala kapaciteten var.

En representant för GE menar att hans företag började tjäna pengar på datortomografi under 1980 och att branschen kräver investeringar på lång sikt:

"Vad gäller lönsamheten i datortomografibranschen så har den hittills varit mycket dålig. För GE har man nu kommit så långt att man börjat göra pengar. För närvarande står vi nog kring break-even. Däremot bedömer vi att alla andra förlorar pengar. Inom EMI har man skulder på 200 miljoner pund, och en förlust per år på medicinsk-tekniska system på 20 miljoner pund. Man har nog underskattat investeringskostnaden för datortomografi. Inom EMI har hittills utvecklingsarbetet kostat 20-30 miljoner dollar. Datortomografibranschen är av samma typ som datorbranschen och de företag som inte är beredda att investera på lång sikt skall inte gå in i branschen. Man kan ta företag som Philips och Siemens, som satsat flera 100 miljoner kronor och endast fått ut några stycken dator-tomografer." (5)

I tabell 2 finns en sammanställning över antalet datortomografer i några viktiga länder åren 1978 och 1979 fördelade på skall- respektive kroppstomografer, samt antal system per 1 miljon invånare.

Land	Mars 1978				1979			
	Antal datortomografer			CT per 1 milj invånare	Antal datortomografer			CT per 1 milj invånare
	Skalle	Kropp	Total		Skalle	Kropp	Total	
USA	337	668	1.005	4.6	400	854	1.254	5.7 (febr.)
Japan	180	112	292	2.6	304	212	516	4.6 (april)
Västtyskland	51	42	93	1.5	0	0	160	2.6 (juli)
Australien	0	0	0	0	7	21	28	1.9 (jan.)
Kanada	0	0	0	0	9	29	38	1.7 (maj)
Sverige	8	5	13	1.6	8	6	14	1.7 (febr.)
Nederländerna	0	0	0	0	0	0	20	1.4 (jan.)
Storbritannien	36	16	52	0.9	39	18	57	1.0 (jan.)
Frankrike	10	2	12	0.2	20	10	30	0.6 (jan.)
Island	0	0	0	0.0	0	0	0	0.0 (jan.)

0 = Okänd

Tabell 2: Antalet installerade datortomografer i 10 länder 1978 och 1979
(Källa: Policy implications of the computed tomography (CT) 1981).

Av antalet datortomografer installerade fram till mars 1981 svarade USA för 42%, Japan för 31%, Europa för 19% och övriga länder för 8%. I branschen har man också under de 3-4 senaste åren sett en del förändringar. Läkemedels-företaget Searle sålde redan 1977 sitt system till EMI, som fick bilda stomme i deras fjärde generationstomograf. Technicare, som 1976 förvärvat Ohio Nuclear, köptes 1978 upp av det stora konglomeratföretaget Johnson & Johnson. Ett flertal av de mindre tillverkarna, bland dem Varian, Artronix och Neuroscan, har lagt ned sin verksamhet. Ett annat företag AS&E sålde rättigheterna till Pfizer. Marknaden var inte balanserad. Många företag som gick in i branschen har sett att det var mycket dyrt att etablera sig. Man satsade på någon udda marknad och fann sedan att det inte var intressant att bli kvar, när de snabba vinsterna uteblev.

Branschen har under 1980-82 kommit en bit på väg mot en stabilare marknads-situation, där det gäller att slå vakt om marknadsandelar. Många företag har underskattat omfattningen på investeringarna. Många bedömare anser att flertalet tillverkare kommer att slås ut. Från för några år sedan 15-20 stycken kommer man kanske ned till cirka 5. Ett annat inslag i bilden är att några av de företag som delvis ledde utvecklingen till en början nu kommit in i vissa svårigheter. Det gäller EMI, Pfizer och möjligen också Ohio Nuclear. Det senare har klarat sig genom att köpas upp av en stor koncern och därvid fått kapitaltillskott. Pfizer utgör i sig ett stort och lönsamt läkemedelsföretag, som länge tycktes kunna bära förlusterna inom datortomografi. Emellertid drog sig Pfizer bort från datortomografi hösten 1981, efter förluster på ett flertal tiotal miljoner dollar per år.

Å andra sidan, företag som kom in på marknaden vid ett senare tillfälle, som GE, Siemens, Philips och de japanska Hitachi, Shimazu och Toshiba, bedöms ha stora möjligheter att bli kvar och utveckla en lönsam affär av datortomografi. Dessa är gamla etablerade röntgenföretag, som redan tidigare hade byggt upp en marknadsorganisation för att föra fram nya röntgentekniker, vilket många av de övriga företagen saknar.

Som en följd av EMI:s stora förluster på det medicinsk-elektroniska området i kombination med en betydande nedgång i musik- och underhållningssektorn såg sig företagsledningen tvungen att slå samman hela koncernen med Thorn Electric, som förvärvade EMI för 170 miljoner pund i november 1979 (6). Thorn var främst intresserat av underhållningssektorn, som man vill integrera med sin egen verksamhet, då man planerade att satsa på kassettmarknaden.

Däremot var Thorn inte intresserat av EMI:s medicinska sida och arbetade hela tiden på att sälja den, eller åtminstone ta in utomstående intressenter för att begränsa förlusterna. En tänkbar kandidat var länge det japanska Toshiba. I april 1980 övertog dock General Electric EMI Medicals försäljnings- och serviceorganisation, däremot ingick inte den senaste utvecklingsprodukten EMI 7070, den fjärde generationens datortomograf i köpet. Den överläts i sin tur till det amerikanska Omni Medical, som tidigare köpt Neuroscan av GE. En mer avancerad fjärdegenerationstomograf under utveckling köptes av Philips amerikanska koncernbolag, North American Philips.

En representant för EMI:s medicinska sektor betonar dock att sammantaget har man tjänat pengar på datortomografi och att musiksektorn starkt bidrog till EMI:s svårigheter:

"Up till now we have made money on CT in EMI. We are the only firm that ever actually have made any profit out of CT. We are still in profit. Then I am talking about profit accumulative. But we are currently running at a loss. We made 40 million pounds during the first 5 years and we have lost 30 of that 40 during the last 2 years. Cumulative we are still in profit. It is during the last years we have got some losses but we expect that we will be in profit again in this financial year in late 1980.

The selling of EMI to Thorn Electric can be seen from a cartoon view. The unlucky thing was that 2 shells had landed in the same hole. Medical electronic was in a loose situation and records ran rather suddenly into a loose situation. The Thorn deal is seen as

bringing together a firm that has a lot of cash, a big cash-flow, with a firm that has the technical skills that Thorn needs to develop into the domestic market. It is yet to be seen how this will benefit but Thorn sees a need to be in technology and EMI sees to need to find the cash whereas the life has been so difficult during the last 18 months. It would be far too early to say now what the intentions of Thorn are.

Looking back on what has happened and on the question if EMI should have found some cooperation with a big X-ray firm and perhaps sell the idea. It is a very difficult question. I think that you will probably find the opinions being fifty-fifty. At this point in time you can probably say, yes, they should have gone out with some cooperation. I think in 12 months time they will say it was right for EMI to hang on. Personally I feel EMI was right in going on their own. They wanted to diversify, they chose a good line to get diversified into, and they did pretty well. They run into the troubles you might expect from somebody going into a totally new business. Had the music industry held up for another year, then I think they had been able to support the medical division. The medical division had a very heavy investment program for 2 years. That investment program is now bearing fruit, and I think that we next year will go into profit. It is a question of timing like these things in cash-flow always are. Could you bridge that gape, it should have worked." (7)

I tabell 3 har några av de viktigaste tillverkarna sammanställts. Uppgifterna är något osäkra och skall endast tas som relativa.

	1977	%	1979	%	mars 1981	%
EMI	710	51	1130	42	878	19.3
Ohio Nuclear	330	24	400	15	641	14.1
Pfizer	90	6.5	300	11	323	7.1
General Electric	85	6.0	300	11	719	15.8
Hitachi	85	6.0	200	7.5	355	7.8
Siemens	30	2.0	100	3.8	473	10.4
Philips	-	-	50	1.8	64	1.4
Toshiba					491	10.8
Övriga (Picker, Varian, Artronix m fl)	70	5.0	200	7.5	606	13.3
Totalt	1 400		2680		4550	

Tabell 3: Antal sålda datortomografer fördelade på olika tillverkare under åren 1977, 1979 och mars 1981, hela världen utom östländerna, preliminära siffror. Nedgången för EMI från 1979 till 1981 beror på att en del EMI-system klassificerats under GE. (Källa: intervjuer inom respektive företag.)

Under perioden april 1980 - sept 1981 ökade Toshiba's andel av antalet installerade system till 22.8 %, GE's till 29.4 % och Siemens till 13.4 %. Samtidigt sjönk Pfizers andel till 0.7 % och Technicare's till 4.9 % av installerade system under perioden.

I tabell 4 återges antalet installerade system i USA, maj 1980, fördelade på skall- och kroppstomografer.

Tillverkare	Skalltomografer		Kroppstomografer		Totalt	
	Antal	Procent av total	Antal	Procent av total	Antal	Procent av total
EMI	284	61.6	267	26.4	551	37.5
Ohio Nuclear	109	23.6	309	30.6	418	28.4
General Electric	16	3.5	221	21.8	237	16.1
Pfizer	-	-	107	10.6	107	7.3
Artronix	28	6.1	4	0.4	32	2.2
Syntex	11	2.4	17	1.7	28	1.9
Picker	-	-	22	2.2	22	1.5
Elscint	-	-	13	1.3	13	0.9
Varian	-	-	16	1.6	16	1.1
AS&E	-	-	11	1.1	11	0.7
Phillips	-	-	10	1.0	10	0.7
Omni	9	1.9	-	-	9	0.6
Övriga a)	3	0.6	14	1.4	17	1.2
Totalt	460	100.0	1011	100.0	1471	100.0

a) Neuroscan, Siemens och CGR.

Tabell 4: De viktigaste företagen inom datortomografi och antalet sålda system i USA, maj 1980 (Källa: Policy Implications of the Computed Tomography (CT) Scanner, 1981)

Marknadsprognoser för datortomografi

Bedömningen av marknadsutvecklingen var efter 1978/79 mycket pessimistisk inom flertalet företag. Man uppskattade att marknaden skulle komma att stabilisera sig kring 300-500 system per år. Snabbast växande marknader var, förutom Japan, ett flertal länder i Sydamerika, Sydafrika och vissa delar av Fjärran Östern, som Singapore, Malaysia och Hongkong. Vidare trodde man att USA-marknaden kom att återhämta sig, men inte till samma storlek som tidigare. Man hade haft en kraftig svängning från en mycket stark marknad till ett tvärstopp i samband med de federala regleringarna. Från 1980 såg man åter vissa öppningar och arbetade mera strukturerat i sin marknadsföring. Regleringar skulle finnas kvar, men användas på ett mera selektivt sätt. I USA svänger av tradition efterfrågan kraftigare än i andra länder.

Det fanns bedömare som menade att USA-marknaden kom att gå ned, medan det fortfarande fanns potential i Europa. Inom Siemens arbetade man efter en prognos för 1979-1982, som visade på en försäljning per år med 180 för USA, 140 för Japan, 55 i Västtyskland, 195 i övriga Europa och 70 i vissa andra

länder. Detta skulle innebära att alla länder utom USA ökade sin marknad, medan USA skulle gå något tillbaka från 230 1979 till nämnda 180.

Inom GE delade man upp marknaden i tre kategorier, som bygger på inom vilka länder man kan komma ifråga vid köp av datortomografi och som man därför satsade olika hårt på. En representant berättar:

"I en första kategori finns USA, Japan, Skandinavien, Tyskland, England, Brasilien, Spanien, Frankrike, Italien och Beneluxländerna.

I en andra kategori finns vissa delar av Fjärran Östern och en del länder i Sydamerika. Detta beroende på vilken standard sjukhusen har.

Den tredje och lägsta kategorin avser länder där man inte lägger ner något arbete marknadsmässigt och inte bygger upp någon egen organisation för marknadsbearbetning. Däremot är man villig att gå in i diskussion vid förfrågan. Man bedömer det vara alldeles för dyrt att skapa en organisation med reservdelslager i alla länder, som skulle kunna tänkas.

Till en början hörde Finland till den tredje kategorin, men det har nu ändrats. Öststaterna tillhör kategori nr 2. Det finns ju ett par EMI-anläggningar i öststaterna och dessutom någon egen tillverkning. Vidare har Siemens gjort en del installationer."

Bedömningarna visade sig vara något för pessimistiska. Efter 1980 har åter efterfrågan vuxit, framför allt i USA. Reagan-administrationen införde under 1981 betydande lättnader i regleringarna. I Japan finns fortfarande en stark tillväxt.

En person inom ett av de stora medicinskt-tekniska företagen gjorde följande marknadsbedömning hösten 1981:

"The market is now growing substantially after 1980 because the limitations in the US have been drawn away after the Reagan administration took over. 300 scanners are on order at the moment in the US. Europe is also growing about 10% each year. Japan is still growing. 150 systems can be sold in Europe this year, 350 in Japan, in the US more than 300 systems, in South America 20 and perhaps 5 in the whole of Africa, 5 in Australia.

In Europe, Germany is still the biggest market, but Italy, Spain, Belgium and Holland are also growing fast." (9)

I Skandinavien tror man på en relativt begränsad utveckling med tanke på det ekonomiska läget. Man räknar med vardera cirka 3 system per år i Sverige och Norge, och något mindre i Danmark. Sammanlagt kanske 8-10 system kan säljas per år i Skandinavien.

I Sverige, där nu datortomografer installerats på samtliga universitetskliniker, tror man på en spridning till ett flertal stora centrallasarett. Karlstads var det

första som beställde och under våren 1980 var det Gävle lasarets tur. Man tror att Västerås och Jönköping står i tur och därefter Halmstad, Falun och kanske Kristianstad. Totalt skulle marknaden i Sverige omfatta cirka 30-36 system, men det finns företrädare inom industrin som tror på upp emot 100 inom en 10-20 års period. Flertalet system skulle vara av en enklare och billigare version.

12. DATORTOMOGRAFIN OCH NÅGRA KONKURRERANDE OCH KOMPLETTERANDE TEKNIKER

Till skillnad från vid skallundersökningar kom kroppstomografin att ställas i relation till ett stort antal konkurrerande och kompletterande metoder. På röntgenavdelningar var olika invasiva kontrasttekniker och genomlysningsundersökningar väl etablerade inom olika områden. Datortomografin visade sig inte ha omedelbara effekter i form av att göra andra metoder onödiga. Samtidigt kom datortomografin att jämföras med nya metoder som isotopteknik och ultraljud, och senare med metoder som befinner sig på utvecklingsstadiet, men som har stor potential såsom gammadatortomograf, positronteknik och nukleär-magnetisk resonans.

I detta kapitel presenteras några av dessa jämförande studier. Därefter behandlas några diagnosmetoder som befinner sig under utveckling och slutligen några utvecklingssträvanden inom datortomografi.

Några redan etablerade tekniker

Inom bröst- och lungområdet bedrevs sådant arbete som syftade till att ställa datortomografin i relation till metoder som endoskopi och angiografi. På samma sätt utvärderade man inom buksidan metodens möjligheter i förhållande till de etablerade metoderna vid undersökning av levern och bukspottskörteln. Ett ytterligare exempel är vid njurarna, där den relaterades till angiografi och en metod som kallas urografi.

I en utvärderingsundersökning studerade man lymfografin i relation till dator-tomografin. Lymfografin innebär att man sprutar kontrast i kroppens lymfkärl för att dessa skall kunna framträda på röntgenfilmen. Man ville studera om datortomografin kunde ge ny eller säkrare information. Vidare om man kunde ersätta en besvärlig och i viss mån riskfylld undersökning som lymfografin. Angiografin var en starkt etablerad metod inom röntgen. Det har medfört studium av angiografin i kombination med datortomografi. Förutom att man jämförde de båda undersökningsmetoderna och de diagnostiska bidrag de ger, förekom det studier där man först gjorde angiografi, och sedan katetrarna låg kvar i kroppen körde in patienten till datortomografilaboratoriet och tog snittbilder. Man ville utvärdera vad datortomografin kunde ge för information, när man sprutat kontrast angiografiskt. Över huvud taget arbetade man i stor omfattning med kontrast i kombination med datortomografi.

Med hjälp av datortomografins ökade förmåga att avgränsa olika vävnadstyper och ge en exaktare bild av t ex en tumörs läge, har det utvecklats behandlings-former där angiografitekniken används. Man kan spruta cellgift genom en kateter som lagts in i ett blodkärl. På så sätt erhålls en mera riktad verkan samtidigt som bieffekterna reduceras. Även vid skallen infördes undersökningar, där man kombinerade gamla invasiva tekniker med datortomografi. Ett exempel är att man i vissa fall sprutade en liten mängd luft upp i hjärnan, innan man tog datortomografibilder.

Bakom flertalet av dessa studier låg läkarens strävan efter ökad säkerhet i sitt diagnostiska arbete.

En röntgenläkare gav följande exempel på gången vid en undersökning och hur det ofta blir så att olika metoder kompletterar varandra.

"Javisst, vi har varit tvungna att kombinera olika metoder och kommer att få göra under en övergångsperiod. Detta tills vi ser hur en viss patient skall undersökas. Vi måste ha tillgång till paket av undersökningsmetoder. I vissa fall vet man direkt hur undersökningen skall gå till. Om en patient kommer hit gul som en kanarie-fågel vet vi att det måste vara stopp i gallgångarna på något sätt. Sedan är det vi röntgenläkare som skall hitta en metod för att komma åt stoppet exakt. Man kan exempelvis sticka in en kateter i levern. Ibland måste då patienten opereras efteråt då det ofta uppstår blödningar. Man kan undersöka med ultraljud eller också med datortomografi. Det är klart att ultraljud skall göras först. Vi måste finna vägar för hur vi lämpligen skall använda våra resurser. Vi skall ju använda så få resurser som möjligt för att ta fram diagnosen. Men det är enormt komplicerat att beskriva hur man ser på det här exakt.

Exempelvis om vi genom ultraljud finner att patientens kanarie-gulhet beror på en sten. Då säger kirurgen att vi skall ta bort stenen. Samtidigt vill man ha en slang in i levern för att avlasta gallträdet. Gallan har inte kommit till tarmen och gallan måste komma i bättre form innan man opererar. Då gör man ändå båda undersökningarna med ultraljud respektive datortomografi. Sedan kommer frågan om det kanske är en tumör istället. Om det är en tumör så kanske man inte vill operera patienten om det är en tumör som inte är operabel. Då skall man inte sticka kniven i patienten i onödan utan skall få ha kvar sin tumör tills han inte klarar sig längre. Det gäller också om man skall stråla på den. Alltså kommer alla tre undersökningsmetoderna till. Sedan kan faktiskt en fjärde komma till. Nämligen angiografi, kontrastundersökning av blodkärl. Tumören kan ha kommit till det stadiet att vi kan behandla med cellgift. Cellgift sprutas direkt in i pulsådern. Alla fyra av de här metoderna kommer ändå till användning. Det är nästan lika varje gång. Alla metoderna används för att ge maximal information. Det är tveksamt om vi vunnit något i längre liv för patienterna. Det är bara så." (1)

Under 70-talet har ultraljudet utvecklats till ett av de viktigaste diagnos-medlen. Inom många områden kan både datortomografi och ultraljud bidra med information och betydande arbete har satts igång med att jämföra de båda metoderna. Ultraljudet har också först under 70-talet i någon större utsträckning kommit in i röntgenmiljön. De tidigaste utvecklings- och tillämpnings-stegen togs istället inom gynekologi, obstetrik och hjärtdiagnostik. För röntgen medför ultraljud krav på att läkarna lär sig en ny teknik, som i många dimensioner är annorlunda än röntgentekniker.

I del III skall vi särskilt studera utvecklingen av medicinskt ultraljud.

Några framtida diagnosmetoder

Idag använder man inte bara röntgenstrålning för att avbilda människans inre. Man använder sig av gammastrålning, av positronstrålning, av strålning med tunga joner. Till detta kommer avbildande system som inte bygger på joniserande strålning. Ultraljud är ett som sedan länge är i bruk. Nukleär magnetisk resonans är ett annat som befinner sig på forsknings- och prototypstadiet.

Datortekniken har anpassat sig till andra avbildande system än datortomografin. Gammadatortomografen är en svensk utveckling som lovar mycket, liksom positronkameran.

Gammadatortomografi

Gammakameran har gamla anor. Den är ungefär tjugo år gammal. Tekniken utvecklades i USA i slutet av 1950-talet och togs i kliniskt bruk i början av 1960-talet.

Vid denna teknik injicerar man ett s k radiofarmakum, som är märkt med en gammastrålande isotop, i patienten. Med hjälp av en särskild detektor, scintillationsdetektor, är det möjligt att följa hur radiofarmakumet fördelar sig i organet och därmed avbildar dess konturer. Det är ofta också möjligt att få en uppfattning om den biologiska funktionen i organet. Bland annat använder man scintigrafitekniken för att få en bild av ämnesomsättningen i skelettet, lever, hjärta och hjärna. (2)

Fram till 1970-talets mitt var det endast möjligt att få projicerade bilder med gammakameran. I Sverige lanserade då två forskare, Stig Larsson och Anders Israelsson på Radiumhemmet i Stockholm, en **gammadatortomograf**.

Anders Israelsson berättar om detta:

"1975 var jag på ett symposium i Puerto Rico, och då fattade jag att det var möjligt att bygga en gammatomograf. Som riktlinje för konstruktionsarbetet hade jag tre krav: konventionell utrustning skulle kunna användas, likaså samma radiofarmaka som vid gamma scintigrافي och stråldoserna för patienten skulle inte öka."
(3)

Mot slutet av 1975 startades de första försöken och en papperskorg placerades på ett vridbart stativ. Man fick fram en snittbild av papperskorgen, vilket visade att metoden fungerade.

I mitten av 1978 gjordes de första försöken med människor. Till en början fick patienterna sitta på en roterande stol medan kamerautrustningen var fast monterad. Det visade sig vara omöjligt för patienten att sitta stilla de nödvändiga tjugo minuterna som undersökningen tar. Istället byggde man systemet så att patienten låg still på en brits och gammakameran roterade kring patienten. Man har döpt systemet till SPETS, vilket är en förkortning för Single Photon Emission Tomography System. Det nya med SPETS är att det går att göra snittbilder med vanlig scintigrافي, i ett kliniskt system.

Positronkamera

Utvecklingen av **positronkameran** började för Sveriges del 1976 som ett samarbetsprojekt mellan neuroradiologer på Karolinska sjukhuset, fysiker från universitetet i Stockholm och forskare från Atomforskningsinstitutet. Senare kom också kemister från Karolinska sjukhusets apotek med i bilden. Det var alltså ett brett upplagt projekt och målet var att finna metoder att studera hjärnans ämnesomsättning med hjälp av kolisotopen C11. Man var speciellt intresserad av att kunna studera små områden i hjärnan och forskarna behövde ett mätinstrument. Resultatet blev positronkameran. Liknande forskningsarbete pågår på flera ställen i USA, England och Frankrike. (4)

När vissa radioaktiva isotoper sönderfaller bildas positroner, vilka är positivt laddade elektroner. När en positron och elektron kolliderar förintas båda och i detta ögonblick utsänds gammastrålning som sedan kan registreras. Man försöker få tag på gammastrålning från enskilda isotopsönderfall.

Till en början har positronkameran endast använts för huvudundersökningar, men har under senare tid också applicerats på andra områden, främst hjärta och lungor. Som strålkälla använder man sig mest av en isotop, gallium, som har en halveringstid av 68 minuter. När denna sönderfaller, bildas den mätbara strålningen. Blodkärlen i hjärnan släpper normalt inte in andra ämnen genom cellväggarna än de som är nödvändiga för cellernas funktion, här är alkohol ett tråkigt undantag. Det innebär att gallium normalt bara finns i blodbanorna i hjärnan. Om hjärnan är skadad, om det finns en tumör i den, eller en infarkt, då kommer det gallium ut i de skadade cellerna. Då kan man med positronkameran upptäcka den och bestämma skadans storlek och form. De stora möjligheterna för positronkameran ligger i att kunna studera hjärnans ämnesomsättning, d v s göra dynamiska funktionsstudier. I detta syfte ersätter man vanliga kolatomer i sockermolekyler i hjärnan med kolisotopen C11. När en människa t ex rör på en arm motsvaras rörelsen av aktivitet i någon hjärnhalva. Detta kan på en positronkamerabild framträda som en liten lysande punkt, eftersom sockerformen glykos pumpas fram för att ge näring åt det ställe i hjärnan som aktiverats.

Det går också att tillföra syre i form av syreisotoper. Då kan man i positronkameran studera syreförbränningen i olika delar av hjärnan. I framtiden ser man möjligheter att med radioaktiva isotoper märka de substanser som har hand om informationsöverförandet mellan hjärnceller. Man tror att detta kan skapa bättre förståelse av orsakerna till en hel del vanliga sjukdomar, bl a schizofreni, och öka möjligheterna att få fram effektiva behandlingsformer. För att detta skall lyckas är man beroende av att kemisterna lyckas finna nya substanser som kan fungera som spårämnen och tekniker för dess användning.

Till skillnad från datortomografin, som ger en bild av den anatomiska strukturen, ger positronemissionstomografin information om funktionen i ett visst organ.

I USA pågår ett omfattande forskningsarbete kring denna teknik. Det amerikanska National Institute of Health (NIH) stödjer ett flertal stora projekt. Man uppskattar att det finns mer än 20 positronemissionstomografer på experimentstadiet, hälften av dem i USA. Ett färdigt system för kliniskt bruk beräknas

kosta mellan 1.35-1.94 miljoner dollar (5). Detta visar på att tekniken kommer att bli ett instrument främst för stora forskningskliniker.

Nukleär Magnetisk Resonans

På forskningsstadiet finns idag en teknik som gör det möjligt att få avbildningar utan användning av strålning. Den kallas **NMR**, en förkortning av **Nukleär Magnetisk Resonans**. Ofta kallas principen bakom metoden på svenska proton-resonans.

Principen beskrevs redan för 30 år sedan av fysiker och har fått användning bl a vid mätning av magnetfält. NMR, med tomografisk princip, har först börjat användas under de senaste åren. Paul Lauterbur, State University of New York, demonstrerade för första gången 1973 hur man kunde rekonstruera en bild i två och potentiellt tre dimensioner från NMR-signaler. Tekniken kom att kallas för zeugmatography (från grekiskans "slå samman"). För närvarande finns ett flertal olika tekniker under utveckling. (6)

Principen bakom NMR är att alstra ett starkt magnetfält parallellt med den kropp som skall studeras. Efter en kort stund gör magnetfältet att kroppens väteprotoner lägger sig parallellt med magnetfältet. En radiofrekvens anpassad till protonernas frekvens läggs vinkelrätt mot magnetfältet. Detta ger upphov till resonans i en del av protonerna. Efter det att radiofrekvensen slagits av fortsätter protonerna att svänga med samma frekvens som radiovågorna. Dessa svängningars frekvens kan registreras med hjälp av mottagare. Signalerna mäter vatteninnehållet i kroppen. Efter en stund försvinner protonernas svängningar och de ställer åter in sig längs magnetfältet. Den tid som detta tar är viktig att mäta, då den ger information om undersökt vävnad.

Vattenatomer i frisk respektive sjuk vävnad har olika vatteninnehåll. Lauterbur insåg 1973 att genom att skifta riktning på magnetfältet, i vilket patienten är placerad, och ta projektioner från många olika vinklar och sedan rekonstruera den med en dator, skulle det vara möjligt att återge studerad vävnad i två och eventuellt tre dimensioner. Den rekonstruerade avbildningen kan sedan återges på en bildskärm. NMR-tekniken bygger således upp en bild med utgångspunkt i vävnadernas kemiska olikheter, medan datortomografin mäter absorption av röntgenstrålning.

Den kanske potentiellt intressantaste tillämpningen av NMR är mätning av ämnesomsättning över en längre period i olika organ. Eventuellt blir det möjligt att speciellt fokusera på ett visst organ, del av ett organ, t ex hjärnans ventriklar. Hittills har ämnesomsättning enbart kunnat studeras med hjälp av vävnadsprov, en metod som vid hjärnan är mycket besvärlig.

NMR har dragit till sig ett mycket stort intresse över hela världen. Ett intensivt forskningsarbete pågår för närvarande, såväl inom den medicinska professionen som hos företag. Bl a bedrivs forskning vid Oxford, Nottingham och London Universities i England och New York Medical Center, University of California, Berkeley och John Hopkins University i USA. Ett flertal företag bedriver utvecklingsarbete. I USA, Pfizer med en prototyp vid University of California i San Francisco, Johnson & Johnson och GE. I Europa utvecklas också NMR-tekniken inom Thorn-EMI, Brouker och Siemens i Västtyskland och Philips

i Holland. För närvarande uppskattas att ett NMR-system för kliniskt bruk kommer att kosta cirka 750.000 \$ inklusive datorenhet. (7)

Det kan noteras, att Thorn-EMI:s utvecklingsarbete pågår inom den centrala forskningsenheten. En av de viktigaste personerna är datortomografins uppfinnare Hounsfield. I maj 1980 installerade Thorn-EMI sin första NMR-prototyp på Royal Hammersmith General Hospital, London, på röntgenkliniken där Frank Doyle, en av de tre röntgenläkare som samarbetade med Hounsfield i utvecklingen av datortomografen, arbetar.

Datortomografins framtida utveckling

Trots att den snabba utvecklingen för datortomografen nu saktar av, pekar man på betydande utvecklingssatsningar och förfiningar.

Sedan 1977 har man inom röntgenindustrin ägnat en hel del resurser åt utvecklingsarbete kring datortomografi för hjärtat. Det finns ett stort antal problem att lösa i samband härmed.

För att få skarpa bilder krävs en mycket snabb exponeringstid på kanske några hundradels sekunder per snitt, då man vill undvika hjärtats rörelser. Ett annat problem är att täthetsskillnader mellan infarkt-drabbade muskler och friska är mycket liten, och kräver för att framträda på bild, användande av kontrastmedel, för vilket hjärtat är mycket känsligt. Detta visar att datortomografi för hjärtat är en invasiv teknik, och eftersom lokalisering av en infarkt inte alltid talar om var tillslutningen av artären finns, kan datortomografen inte ersätta angiografiska undersökningar. För att kunna ta snittbilder av hela hjärtat på en gång behövs en tvådimensionell detektor, vilken är mycket svår att få att fungera tillfredsställande. Man har försökt att placera ett större antal röntgenrör på en fjärde generationsscanner, men det har visat sig att inte fungera speciellt bra. Ett forskningsprojekt avser användning av en stationär scanner med 28 röntgenrör placerade i en halvcirkel och 28 tvådimensionella detektorer i motsatta halvcirkeln. Forskningsprojektet bedrivs vid Mayo-Clinic, USA. Syftet är att försöka få fram ett system som kan avbilda rörliga organ, främst hjärtat. Som en integrerad del ingår att utveckla speciellt snabba databehandlingssystem.

Om systemet lyckas, kommer det bli möjligt att ta upp till 240 snitt med 1 mm tjocklek på 11 msec och upprepa proceduren med intervaller av 1/60 sekund. Systemet skall kunna avbilda såväl ett organ tredimensionellt som återge ett dynamiskt förlopp i ett rörligt organ. Klinisk användning ligger fortfarande ett par år fram i tiden. Något system för rutindiagnostik blir det inte. Kostnaden beräknas till 3 miljoner dollar per system vid massproduktion. (8)

Det ovan sagda tyder på att produktförbättringar i framtiden kommer att ske inom ramen för de nuvarande generationsutformningarna.

För närvarande arbetar man på en ytterligare sänkning av scanningtiden för att reducera andningsrörelser och andra rörelser i olika organ. Man försöker utveckla system med dynamisk scanning, där man tar ett antal snitt i snabb följd. Med hjälp av denna teknik skall man kunna följa förlopp, t ex då man sprutar kontrast. Man hoppas också på att kunna få en uppfattning av

hjärtslagen. Tidigare har man arbetat med en bild per 30:e sekund, men detta är för långsamt.

Man arbetar också på att få en effektivare säkerhet i de täthetsmätningar som göres vid avbildningar. Vidare vill man utveckla datortomografin här mot bättre upplösning i bilden, så att mindre strukturer skall bli synliga. Man är nu nere på ca 1/2-1 mm, men vill sänka detta ytterligare.

Program för dosplanering vid strålbehandling av cancer är också på utvecklingsstadiet. Vid beräkning av stråldos och olika infallsvinklar vill man utnyttja datorn. Här kan datortomografi med hjälp av mätvärden på vävnadstätheter hjälpa till. Man vill också förbättra bildkvaliteten med hjälp av känsligare detektorer och från ett antal av cirka 500 bildceller gå upp till 1.000 stycken. Man arbetar på nya konstruktioner som skall kunna förbilliga systemen genom enklare produktionsätt.

En större användning av datortomografin i terapeutiskt syfte tror man också på. Den kan komma att fylla en viktig funktion vid planering av operation och eventuellt kan man med utvecklade datorprogram simulera hur ingreppen skall genomföras. En företagsrepresentant berättar:

"Som exempel på en sådan vidareutveckling kan jag nämna en läkare som har specialiserat sig på att operera barn som inte har någon ryggrad. Han tar en bit skenben och opererar in detta som ett slags ryggrad. Till en början använde han CT enbart för att titta på nervsystemet i diagnostiskt syfte. Han ville alltså få översiktsbilder. Löpande med bättre bilder har han kunnat spruta kontrast och då sett blodkärlen bättre. Med hjälp av detta har han kunnat planera operationen och gör nu t o m en simulerad sådan på bilden. Han kan alltså simulera hur han optimalt skall kunna skära vid operation. Ett sådant datorprogram är inte billigt att tillverka. Den här sortens tillämpningar kommer att öka lavinartat. Man kommer att få ett stort antal program i datortomografibiblioteket." (9)

Översiktsbilder, som erhålls med hjälp av datortomografin (scannogram), kan komma att bli ett viktigt komplement till vanliga röntgenbilder. Istället för vanliga filmer kommer det att bli datorn som framställer kroppen. Det ger också läkaren möjligheter att välja ut ett visst snitt att titta på och att manipulera detta på olika sätt.

Vidare kanske man i framtiden kan "plocka ut" ett speciellt organ och studera detta särskilt. Exempelvis en kota eller en disk, där man kan se eventuella skador. Det pågår nu utvecklingsarbete för sådana datorprogram.

13. DATORTOMOGRAFINS SPRIDNING

I detta kapitel skall spridningen av datortomografin något närmare studeras. Huvudintresset läggs på spridningen i Sverige, med anskaffning till Lunds lasarett som specialintresse, men först skall några erfarenheter från en amerikansk studie relateras.

Den generella bilden är att datortomografin i första hand är en metod för de stora sjukhusen, inte minst forskningsintensiva universitetssjukhus. Spridningen har såväl i Sverige som i USA, Japan, Västtyskland, etc i första hand skett till stora universitetssjukhus.

Några erfarenheter från USA

I en amerikansk studie har man studerat spridningen av datortomografin i USA, geografiskt såväl som institutionellt (1).

Geografisk spridning

Det framgår att antalet datortomografer varierar betydligt mellan olika stater. Genomsnittligt fanns i maj 1980 6,7 datortomografer per 1 miljon invånare, men det fanns stater med betydligt fler respektive mindre antal system. Washington D C hade 16,7, Nevada 12,8, Florida 10,9, Californien 10,5 och Missouri 9,4. Å den andra sidan hade Syd-Carolina 2,4, Rhode Island 3,3, Idaho 3,3, Delaware 3,4, New Jersey 3,7.

I tabell 1 återges antalet datortomografer i några olika stater, dels fördelade på offentliga sjukhus respektive privata kliniker och sjukhus, dels på antalet enheter per 1 miljon invånare.

Stat	Antal CT		Antal CT per 1 miljon invånare		
	Offentliga sjukhus	Privata sjukhus	Off sjukhus	Priv sjukhus	Totalt
Maine	5	1	3,4	1,3	4,7
Massachussetts	25	5	4,3	0,9	5,2
Rhode Island	2	1	2,2	1,1	3,3
New York	61	42	3,5	2,4	5,9
New Jersey	20	7	2,7	1,0	3,7
Pennsylvania	66	7	5,6	0,6	6,2
Ohio	50	12	4,7	1,1	5,8
Indiana	24	6	4,4	1,1	5,5
Illinois	69	11	6,1	1,0	7,1
Michigan	27	6	2,9	0,7	3,6

Stat	Antal CT		Antal CT per 1 miljon invånare		
	Offentliga sjukhus	Privata sjukhus	Off sjukhus	Priv sjukhus	Totalt
Missouri	44	2	9,0	0,4	9,4
Nebraska	11	2	7,0	1,3	8,3
Delaware	1	1	1,7	1,7	3,4
District of Columbia	10	1	15,2	1,5	16,7
South Carolina	7	0	2,4	0	2,4
Florida	70	27	7,9	3,0	10,9
Kentucky	11	2	3,1	0,6	3,7
Tennessee	24	3	5,5	0,7	6,2
Idaho	3	0	3,3	0	3,3
New Mexico	5	5	4,0	4,0	8,0
Nevada	8	1	11,4	1,4	12,8
California	196	43	8,6	1,9	10,5
Hawai	5	0	5,5	0	5,5
Puerto Rico	2	3	0,6	1,0	1,6
	1193	278	5,4	1,3	6,7

Totalt antal dator-
tomografer i USA

1471

Tabell 1: Distribution av datortomografer i USA per stat (urval) maj 1980.
(Källa: Policy Implications of The Computed Tomography (CT) Scanner 1981)

USA hade vid denna tidpunkt det överlägset största antalet datortomografer per 1 miljon invånare i världen. Den enda egentliga konkurrenten är Japan med 4,6 system per 1 miljon invånare april 1976 jämfört med 5,7 i februari samma år i USA.

Vid ett närmare studium visar det sig att stater med största antalet datortomografer per capita alla är relativt stora stater med en relativt låg befolkningstäthet. Många av dem har också utpräglat lantlig karaktär med befolkningen utspridd över stora delar av staten. Därmed är det klart att ett högt antal datortomografer per capita inte nödvändigtvis indikerar bättre tillgång till undersökning för befolkningen. Fördel i fler system per capita reduceras ofta av längre avstånd till närmaste datortomograf.

Institutionell spridning

Av de 1471 datortomografer som var i drift maj 1980, fanns ca 19% på privatmottagningar eller privatkliniker. Andelen var densamma som i maj 1977.

I tabell 2 återges antalet datortomografer på olika slags sjukhus och privata kliniker i maj 1980.

Typ av enhet	Enheter med CT		CT	
	Antal	Procent av total	Antal	Procent av total
Alla sjukhus	1041	78.7	1175	79.9
Kommunsjukhus	(1015)	(76.7)	(1147)	(77.9)
Andra akutsjukhus a)	(26)	(1.9)	(28)	(1.9)
Mobila system	18	1.4	18	1.2
Privata mottagningar och kliniker	264	19.9	278	18.9
Total	1323	100.0	1471	100.0

a) Inkluderar 17 militärsjukhus för krigsveteraner och 8 andra militärsjukhus.

Tabell 2: Antalet datortomografer och deras fördelning på olika slags sjukhus i USA, maj 1980 (Källa: Policy Implications of The Computed Tomography (CT) Scanner, 1981)

Av totalt 5 881 akutsjukhus hade 1 015 eller cirka 17,3% datortomografer. Endast 161 eller 8,8% av de akutsjukhus som finansieras av federala eller statliga anslag hade datortomografi. Även bland stora sjukhus med mer än 500 sängplatser fanns ett flertal som inte hade datortomografi, närmare bestämt 15 av 47. Enbart i New York City fanns 6 sådana sjukhus utan datortomografi. Dessa sjukhus frekventeras främst av den fattiga befolkningen, inte minst av många minoritetsgrupper.

En mycket låg andel datortomografer fanns också på sjukhus för krigsveteraner.

Datortomografin har spridits snabbast till de större sjukhusen, främst universitetssjukhus. Av akutsjukhusen med mer än 500 sängplatser hade 84,9% datortomografi i maj 1980. 264 av dessa sjukhus hade 360 datortomografer. Det fanns således flera sjukhus med mer än ett system. Av de statsfinansierade sjukhusen med mer än 500 sängplatser och som hade datortomografi var alla knutna till ett statsuniversitet.

Totalt fanns i maj 1980 97 sjukhus med mer än 500 sängplatser, som fortfarande inte hade datortomografi. Av dessa svarade sjukhus för krigsveteraner under försvarsdepartementet för 45,4%. Å andra sidan fanns 80 sjukhus i enskild ägo med datortomografi. Hälften av dem hade mindre än 200 sängplatser.

I studien framgår också att den stora efterfrågan på datortomografer 1975-1976 medfört att många sjukhus köpte system som representerade första- och andragenerationstomografer, i många fall med enbart möjlighet att undersöka skallen. Ny teknik har sedan skapat efterfrågan på ersättningsinvesteringar från många av dessa sjukhus.

Svenska radiologer får sin första datortomograf (2)

Den svenska röntgenprofessionen uppmärksammade i ett tidigt skede den nya tekniken. Professor Torgny Greitz vid neuroradiologiska kliniken, Karolinska sjukhuset, fick en första kontakt med metoden att ta snittbilder, då en av hans kolleger skickade ett urklipp från en tidning som behandlade elektroniknyheter.

I denna fanns en artikel om möjligheterna att rekonstruera tredimensionella röntgenbilder. Kollegan menade att Greitz som representant för neuroradiologin skulle gå ut och tala om att sådant här var humbug. Det lät alldeles för fantastiskt för att vara sant. Greitz forskade lite kring artikeln och i augusti 1972 åkte han till en mindre kongress för europeiska neuroradiologer i Bologna. Vid denna framlades kliniska resultat från datortomografiundersökningar. Den engelske radiologen James Bull redogjorde för de första resultaten.

När Greitz sedan kom hem hade de svenska neuroradiologerna i september ett efterutbildningsmöte för isotopteknik. Vid en efterföljande paneldebatt gjorde han "en liten kupp" och slängde in de första bilderna från datortomografi. Reaktionen blev mycket stark och alla närvarande neuroradiologer blev mycket intresserade och man improviserade gemensamt ett sammanträde direkt efter mötet. Det beslöts att man gemensamt skulle söka pengar till en apparat som skulle kunna användas i forskningssyfte. Man vände sig direkt till olika forskningsfonder, då man bedömde att det skulle ta för lång tid att gå över sjukvårdsadministrationen. Ansökan skickades in i månadsskiftet september-oktober 1972, där alla universitetskliniker samt Linköpings Lasarett och Hud- dinge sjukhus fanns med. I gruppen fanns någon läkare som i det längsta tvivlade på att tekniken verkligen skulle fungera. Under hösten var gruppen i England och tittade på tekniken. Den tvivlande läkaren ville stoppa en sitt eget huvud i maskinen för att bli övertygad om dess riktighet. Detta gjorde han dock inte.

Alla neuroradiologer var överens om att satsa på projektet, då det uppenbart hade stora potentiella möjligheter. Anslaget beviljades redan före julen 1972. De fonder man skickat ansökningar till, nämligen Riksföreningen mot Cancer, Wallenbergsfonden och Nathorstfonden ställde upp som finansiärer med vardera 900 000 från Cancerfonden och Wallenbergsfonden för inköpet. Nathorstfonden bidrog med 100 000 till driften.

Anledningen till att det gick så snabbt att få igenom pengarna var att fondstyrelserna blev övertygade om teknikens potentiella möjligheter och att det var viktigt även för svenska radiologer att utvärdera tekniken. Greitz höll ett föredrag i Vetenskapsakademien och lyckades övertyga dess ledamöter om det stora genombrottet som datortomografin betytt. Redan 1972 kunde man visa på kliniska resultat och att man med datortomografi kunde diagnostisera de sjukdomar i hjärnan som var av störst intresse, nämligen infarkter, blödningar och tumörer. Greitz berättade också att angiografi- och luftskalleundersökningar skulle gå ner i antal direkt och att detta är mycket dyrbara undersökningar.

Det var till en början inte bestämt att datortomografen skulle stå på Karolinska sjukhuset. Man skickade enbart in en gemensam ansökan och när man fick pengarna bestämdes det att de skulle deponeras i Karolinska sjukhuset. Sedan var det upp till samarbetsgruppen att komma överens om var den första svenska apparaten skulle placeras. Alternativen stod mellan Stockholm och Linköping. Ganska snabbt kom man överens om att ställa den i Stockholm.

Alla universitetsklinikerna, som varit med i anskaffningen, startade genast ett 50-tal forskningsprojekt när man fått datortomografen. Den levererades i oktober 1973, och utgjorde den tredje apparaten utanför England. De fyra första hade köpts in av DHSS i England och placerats runt om i Storbritannien. De två andra icke-brittiska datortomograferna placerades i USA.

Efter det att man hade startat samarbetsprojektet fick man snabbt fram en rapport som presenterades på den medicinska riksstämman 1975. Samtliga universitetskliniker medverkade med material från undersökningarna vid Karolinska sjukhuset. Varje universitetsgrupp hade hand om sina egna undersökningar och vistades vissa tider i Stockholm för arbete med forskningsprojektet. Exempelvis skötte en grupp från Lunds lasarett studier av blödningar i hjärnan, en grupp från Uppsala studerade ögon och Karolinska sjukhuset självt olika tumörutredningar i hjärnan. Sedan bearbetade varje universitetsklinik självständigt sitt material. Det väckte en del förvirring i utlandet och man undrade hur man fick patienterna till Stockholm. Hela tiden gällde det dock patienter från Karolinska sjukhusets upptagningsområde. Skillnaden bestod i att olika undersökningar sköttes av olika forskningsgrupper från universitetsklinikerna ute i landet. En del av forskningsobjekten gällde en jämförelse mellan datortomografi och andra metoder. Umeå jämförde vad man kunde se angående ventrikelstorlek i jämförelse med ekoencefalografi (ultraljud). Andra studerade luftskalle, angiografi och isotopundersökning i relation till datortomografin.

En läkare berättar om det positiva värdet av samarbetsprojektet:

"Detta samarbetsprojekt har varit till fördel för Sverige. Tidigt kom know-how ut till alla universitetskliniker och ingen var obekant med metoden när man startade med egna utrustningar. På så sätt har vi fått en vettig utveckling i Sverige. Datortomografi har först kommit till universitetsklinikerna som skall utbilda folk och utvärdera tekniker. På samma sätt har skett vad gäller helkroppsdatortomografi, där universitetsklinikerna stått för både utbildning och utvärdering av tekniken. Sedan kan den successivt selekteras ut till länslasarett. Karlstad och Växjö är på väg att få datortomograf för helkroppsbild". (3)

Röntgenkliniken i Lund får två datortomografer (4)

Genom samarbetet på Karolinska sjukhuset fick de flesta röntgenologer ta del av erfarenheter av datortomografi. Umeå lasarett fick som andra sjukhus i Sverige en skalltomograf. Därefter har successivt flera apparater, under senare år företrädesvis helkroppsvarianter, anskaffats till olika svenska sjukhus. Samtliga regionssjukhus skaffade skalltomografer, vilkas antal uppgår till åtta stycken. Ett flertal helkroppstomografer har också löpande anskaffats och det totala antalet datortomografer i Sverige uppgick 1981 till drygt 20 stycken.

Som tidigare sagts deltog röntgenologer från Lunds lasarett i det forskningsprojekt som bildades kring skalltomografen vid Karolinska sjukhuset. Så gott som omedelbart uppstod dock tankar om att det var nödvändigt att få en egen skalltomograf till den neuroradiologiska avdelningen i Lund.

Första gången ordet datortomografi dök upp i röntgenklinikens petita var vid årsskiftet 1972-73, då man för första gången ansökte om en EMI-scanner. Denna ansökan skickades till sjukhusdirektionen vid årsskiftet. Något beslut om anskaffning kom inte utan 1974-75 upprepas ansökan, där man i huvudsak hänvisade till 1973 års ansökan. Samtidigt ansökte man löpande sedan 1972 om resurser för anskaffning av ett nytt laboratorium för hjärtangiografi, en sak som först hösten 1979 blev en realitet.

En datortomograf för skallen installerades i januari 1977. Den blev åtskilligt förskjuten, i huvudsak orsakat av leveransproblem hos EMI. Någon diskussion om märken uppstod inte, då EMI vid beslutstidpunkten i princip var ensam på marknaden. Sedan fick en fysiker från den röntgentekniska avdelningen åka på utbildning hos EMI i England under en fjorton dagars period.

Som motiv för anskaffning förde man i huvudsak fram att datortomografin tydligt minskar luftskalle- och kärlundersökningar. En röntgenläkare berättar:

"Gentemot sjukhusdirektionen gällde det framförallt att förklara att luft-och färgskallar kunde minskas. Luftskallen är en smärtsam, men rätt utförd föga riskfylld metod, medan färgskalle är lite smärtsam med en betydande risk. Allt detta sett ur patientens synvinkel. I en diskussion gentemot övriga avdelningar påpekades att vi inte behandlar patienterna, utan tillhandahåller undersökningar. Vid CT-undersökning behöver patienten inte ligga inne och ta upp plats. Man kan även momentant bestämma diagnosen. I 99,9% fås genast besked och på så sätt vinnes tid. Narkos behövs inte ges till vanliga människor och de behöver inte övervakas speciellt. Risk för medvetlöshet finns heller inte. På så sätt fås ekonomiskt igen vad man gett ut. En sådan ny teknik var det en nödvändighet för regionsjukhusen att tillhandahålla.

Då endast 50% av landstingen accepterade att direkt betala investeringskostnaderna tillämpas nu ett efterdebiteringssystem. Den exakta kostnaden för en patientundersökning får landstingen på så sätt betala. Kostnadsfördelningen bygger på en avskrivningstid av tre år." (5)

I december 1975 skickades chefen för den röntgentekniska avdelningen till den årliga röntgentekniska utställningen RSNA i Chicago för att titta på datortomografer. Han var röntgenläkare till utbildningen och gjorde ofta resor till främst USA för att följa utvecklingen inom det röntgentekniska området. Resan till RSNA hade finansierats av landstinget, då vid denna tidpunkt det var aktuellt att anskaffa skalltomografen. Redan i oktober 1975 gjorde han ett besök på Malincrodt institutet i USA och fick där för första gången se datortomografi för kroppen. Vid RSNA utställningen i december samma år visades för första gången kommersiellt gångbara helkroppstomografer. EMI hade här sin nya apparat med 20 sekunders exponeringstid, som gjorde det möjligt att ta bilder av kroppen utan störande inslag av andningsrörelser. När han kom hem från detta studiebesök kunde han förstärka och ge mer energi till de tankar som börjat komma fram hos röntgenläkarna på kliniken om att skaffa en apparat även för hela kroppen. Vid årsskiftet 1975/76 begärdes medel till en helkroppstomograf. Landstinget skulle bidra med 1,35 Mkr av totalt cirka 3,6 Mkr. Resterande belopp utgick med 50% eller 1,8 Mkr från Riksföreningen mot cancer och resten cirka 450 000 kr utgjorde sedvanligt statligt bidrag vid anskaffning till regionssjukhus. (6) Nämnden för undervisningssjukhusens utbyggnad (NU-nämnden) tillstyrkte anskaffningen i september 1977.

Professorn på röntgenkliniken besökte personligen Riksföreningen mot cancer och talade för vikten av att även Sverige fick tillgång till helkroppstomografi för att kunna jämföra tekniken med äldre metoder.

Han berättar:

"Vi har mycket långt utvecklade tekniker för vidgning av förträngningar av kranskärl och förträngningar av hjärnan. Dessa metoder är mycket dyra. Det var dessa våra erfarenheter och inte skallscannern som låg bakom ansökan om CT för kroppen. Vi hade en ytterst långt driven inversiv teknisk kunskap och var här i många år ledande. Vi ville göra jämförelser mellan CT och dessa tekniker. Jag gick då till Forskningsrådet i begäran om anslag. Här fick vi medel för 50% av anskaffningen och hade inte landstinget trätt in hade vi fått hela kostnaden täckt bl a genom cancerfonden." (7)

Genom att apparaten finansierades med till 50% forskningsmedel skulle den också användas för forskningsarbete i motsvarande omfattning. På grund av leveranssvårigheter från Philips sida blev Lunds röntgenklinik inte först med helkroppstomografi, utan Karolinska sjukhuset lyckades även här bli först.

Redan under första halvåret 1976 beviljades ansökan och i november 1976 beslöt förvaltningsutskottet att en kroppstomograf fick beställas. I december 1976 skrevs offertunderlag som sändes till ett flertal röntgenföretag. Dock begärdes aldrig offert från EMI. I december 1976, då representanter från kliniken åter var på RSNA utställningen, hade utvecklingen gått så snabbt att EMIs utrustning redan bedömdes som föråldrad. Nu fanns snabbare apparater som arbetade med system av roterande röntgenrör.

Valet av märke föregicks denna gång av många utredningar och diskussioner. En sjukhusfysiker berättar:

"Vid val av märke gjorde vi ett flertal bedömningar. Vi ställde upp en sammanfattning över då tillgängliga apparater och jämförde dem i förhållande till ett antal tekniska faktorer. Bl a bedömde vi EMI-scanners öppning som alldeles för liten. Vi hade krav på gott och väl över 50 cm i diameter för hålet. Vi hade också vissa krav på skikt tjocklek där det fanns stor variation mellan märkena. Vi hade krav på effektbehov. Exempelvis Philips hade krav på att man skulle kunna vädra bort 15 kW i form av värme vilket vi kunde acceptera, medan American Science hade krav på 48 kW vilket var en värmemängd som vi inte kunde klara av. På samma sätt hade vi krav på att den tyngsta delen av maskinen inte fick väga mer än 1 600 kg och ytterligare krav på en högsta storlek.

GEs var för stor. Vi bedömde att den inte skulle kunna tas in. American Science bedömde vi som den kanske förnämsta apparaten på papperet men att den inte var färdig. Philips däremot hade ingen ny teknik utan den var likartad GEs teknik. Att vi inte valde American Science berodde på att detta var ett oerhört litet företag som vi inte trodde skulle kunna överleva. Det var ett familjebolag där alla aktierna satt på ett par personer.

General Electrics maskin var det nära att vi köpte. Att vi inte valde den berodde på att vi då var tvungna att ta upp en väggsektion i lasarettets huvudbyggnad. Byggnadsavdelningen sa att detta skulle bli svårt ur främst hållfasthetssynpunkt. Det hade också varit

omöjligt att ta in apparaten i hissen och vi hade blivit tvungna att ta bort flera dörrar. En ytterligare faktor var att läkare och röntgenassistenter blev tvungna att använda samma granskningsapparat. Det fanns hos GE vid detta tillfälle inte oberoende granskningsenheter vilket vi absolut skulle ha. GE's var också datatillpassad, på så sätt att man var tvungen att behärska dataspråk för att kunna sköta maskinen. Det bedömde vi som negativt. Däremot tyckte vi nog att deras service var bra.

Philips låg bra till i pris även om de inte låg lägst. Det gick att transportera in maskinen i huset och man hade service på plats i Malmö vilket var mycket värdefullt. Vi var nere i Holland och tittade på apparaten och bedömde att den kunde göra samma jobb som GE's.

Varian bedömde vi ha en alldeles för stor apparat. Den kunde vi inte få in någonstans. Det fanns inte ett enda rum som var stort nog åt Varian's apparat. (8)

Slutligen Siemens bedömde vi inte ha en färdig apparat."

Från sjukhusadministrationen och politikernas sida bedömde man i huvudsak anskaffning av en kroppstomograf som positivt även om det fanns kommentarer om att röntgenkliniken under 1970-talet fått ett flertal nya och dyra utrustningar och att man kanske nu fick hålla igen.

En politiker ger sin positiva syn och betonar nyttan av tekniker som är till fördel för patienten och kan hjälpa till att bota sjukdomar:

"Först hade vi köpt en sådan här skallscanner som inköptes och kom igång under 1977. I detta sammanhang tog professor Olle Olsson också upp att det fanns en helkroppsscanner. Detta var dock ett ärende som gick direkt över till förvaltningsutskottet. I direktionen minns jag att vi var helt positiva till anskaffandet av den här apparaturen. Det som angavs var att man med denna skulle kunna göra en ny typ av undersökningar som vi fann mycket värdefulla. Det är sant att detta är dyra ting och det rör sig om mycket pengar. Man kan naturligtvis fråga sig hur mycket man skall satsa på den här tekniken. Å andra sidan så ser vi positivt på allt det som kan vara till fördel för patienter och medverka till att man botar sjukdomar. Den största fördelen med datortomografen är ju att den är smärtfri för patienten och alltså mycket behagligare plus att den ger mer information. Sedan måste man naturligtvis också göra en bedömning av var en sådan här apparat skall placeras och hur angelägen den är. Detta är mycket svåra bedömningar många gånger, liksom överhuvudtaget hur mycket resurser man skall lägga på stora sjukhus." (9)

Man beslöt sig alltså för att anskaffa en Philips apparat och den planerades att bli installerad under hösten 1977, men på grund av förskjutningar i Philips produktion kom den på plats i Lund först i maj 1978. Den utgjorde Philips' första egentliga helkroppstomograf och fanns när man beslutade sig för köp endast på utvecklingsstadiet. Philips hade heller inte någon tillverkning av särskilda skalltomografer.

När den blivit installerad kördes den först i två månader i liten omfattning. Den stängdes i juli-augusti till stor del beroende på personalbrist. I september 1978, maj 1979 och september 1979 skedde uppdateringar, då tiden för bildrekonstruktion sänktes successivt från 90 till 10-15 sek.

DEL III. FALLBESKRIVNING ÖVER MEDICINSKT ULTRALJUDS UTVECKLING

Denna del behandlar ultraljudets användning som medicinskt diagnosinstrument. Beskrivningen är uppdelad i tre kapitel.

Kapitel 14 handlar om olika användningsområden för medicinskt ultraljud och ger en teknisk bakgrundsbeskrivning.

Därefter behandlas kort i kapitel 15 ultraljudets industriella tillämpningar, som är viktiga att förstå som en bakgrund till den medicinska användningen.

Huvudavsnittet, kapitel 16, handlar om hur ultraljudet blev ett medicinskt diagnosinstrument och hur det så småningom uppstod en industri kring tekniken.

14. ULTRALJUDET - ANVÄNDNING OCH TEKNIK

Detta inledande kapitel behandlar ultraljudets tillämpning inom olika medicinska områden, samt de olika tekniker som successivt utvecklats.

Ultraljud har idag en mångfacetterad användning

Parallellt med datortomografin, men med start redan under 1940-talet, utvecklades ultraljud till ett medicinskt diagnosinstrument. Först under de senaste 3-4 åren har man dock i de bredare medicinska kretsarna talar om ultraljud i samma omfattning som om datortomografi. På samma sätt har den stora uppmärksamheten på olika medicinska kongresser kommit ganska nyligen. Intressant att notera är att röntgenprofessionen i huvudsak tidigare haft ett svagt intresse för ultraljudet som diagnostiskt hjälpmedel.

Däremot är ultraljudet utspritt på ett flertal kliniska discipliner och används idag för en mängd olika frågeställningar. (1) Ett av de tidigaste försöks- och användningsområdena var vid undersökning av skallskador (ekoencefalografi). Man kunde med hjälp av ultraljud på ett indirekt sätt få en uppfattning om inre sjukliga förändringar i huvudet. Trots att skallbenet ställde betydande begränsningar kunde ändå tekniken under 1960-talet utvecklas till ett värdefullt hjälpmedel vid neurologiska bedömningar. Ett viktigt område var bestämning av hjärnans mittlinjestruktur och eventuella förskjutningar i denna. Ultraljud användes också till undersökning av ventrikelstorlek, cystiska tumörer, blödningar och hjärninfarkter, men efter datortomografins tillkomst har dess betydelse markant sjunkit. Nu återstår i huvudsak för ultraljudet att vara ett hjälpmedel vid akut bedömning av vissa skallskador, i huvudsak hos barn, där den i de fall där datortomografiundersökning hade måst göras under narkos kan bli en snabbare metod.

Ett viktigt och betydande område för ultraljudet har foster- och gynekologisk diagnostik blivit. Här kan i huvudsak röntgendiagnostik inte användas p g a både kvinnans och fostrets höga känslighet för joniserande strålning. Ultraljudsmetoden ger läkaren möjlighet att direkt se fostret och moderkakan och därmed en unik chans att stärka sina kunskaper om graviditetens utveckling och skillnader mellan normala och sjukliga förlopp. Man kan påvisa tidiga graviditeter, redan efter fem-sex veckor (men man har kunnat fastställa graviditet redan fem dagar efter konceptionen), och något senare kan fosterhjärtekon påvisas och med särskild utrustning för rörlig teknik också fosterrörelser. Ultraljudet kan ensamt prognosticera utgången av graviditeten med hög träffsäkerhet och ersätta ett flertal laboratorieprov. Eventuella tvillinggraviditeter kan också fastställas. Ytterligare kan man mycket exakt övervaka och bestämma fostrets tillväxt, vilket anses mycket viktigt för att kunna planera förlossningen på ett riktigt sätt i de fall där utvecklingen avviker från ett normalt förlopp.

Inom det gynekologiska området har ultraljudet betydelse vid diagnosticering av tumörer i lilla bäckenet. Metoden ger avsevärda bidrag till bestämning av storlek, utbredning, lokalisering och karaktär på tumörer, men är sämre på att skilja mellan god- och elakartade tumörformer. Två andra användningsområden är vid uppföljning av behandlingsresultaten vid kemisk behandling av inoperabla tumörer och undersökning och behandling i samband med sterilitet.

Ett tredje område som tagit hjälp av ultraljud är diagnostisering av ögat. Successivt i takt med tekniska förbättringar av utrustningen har ultraljudet kommit att användas till ett flertal frågeställningar. I många fall finns en grumlighet i ögat som hindrar insyn, t ex vid blödningar i främre kammaren, grå starr och blödningar eller inflammationer i glaskroppen. Ultraljudet hindras inte av dessa förhållanden utan kan ge upplysningar om de bakomliggande faktorerna. Näthinneavlossningar kan ses. Man kan studera bindvävsmembraner och deras förhållanden till näthinnan. Olika tumörformer kan ses och deras storlek och läge avgöras.

Tidigt utvecklades också ultraljud för diagnostik av hjärtsjukdomar. Snabbt kunde man påvisa hjärtstrukturernas läge och rörelser. Man inriktade sig länge kring studier av klaffar, men i takt med att tekniken utvecklades visade det sig att andra hjärtsjukdomar kunde diagnostiseras med denna metod, t ex vätska i hjärtsäcken och blodavlagringar och tumörer i förmaken.

Ett område som börjar bli ett betydande tillämpningsområde för ultraljud fr o m senare delen av 1970-talet är diagnostisering av bukorgan. En väsentlig tillämpning är vid onkologisk behandling, där ultraljudet kan lämna viktiga uppgifter om bukorganen. Här är det viktigt att kunna fastställa tumörutbredning och spridning innan man bestämmer ett speciellt åtgärdsprogram. I uppföljningen i samband med radioterapi (strålbehandling) eller cellgiftsbehandling kan ultraljudet användas mera frekvent än andra metoder och därmed ge läkaren snabbare och bättre information om tumörens förändring. Levern och njurarna är bukorgan som framgångsrikt diagnostiseras med ultraljud. Tekniken fyller också ett behov vid undersökning i lymfkörtlar och kompletterar invasiv röntgen.

Vid njurarna kan cystor skiljas från solida tumörer och infarkter. Punktioner av cystiska förändringar kan styras med hjälp av ultraljud. Vävnadsförändrande åkommor, som små metastaser eller diffust växande lymfom i njuren kan också diagnostiseras.

Vid levern har metastaser ner till 0,5 cm i diameter upptäckts om de förekommer samlade. Utgjutning i lungsäcken på höger sida kan fastställas och höger diafragma avbildas genom sina rörelser, vilket är svårt att radiologiskt visa, då en utgjutning förekommer. Förstorad gallblåsa med vidgade gallgångar går också att påvisa med hjälp av ultraljud.

För att kunna undersöka lymfkörtlar med röntgen krävs utfyllnad med kontrast. Problem att diagnostisera uppstår, t ex om körtlarna inte utfylls tillräckligt. Här kan ultraljud, där det inte behövs någon kontrastutfyllnad, vara ett framgångsrikt hjälpmedel.

Andra ställen där man kan träffa på ultraljudet är på öronkliniker, där man bl a försöker ersätta röntgen av bihålor; urologisk klinik där man kan diagnostisera prostatacancer och olika förkalkningssjukdomar; och i vissa fall på medicinsk klinik. Kliniska fysiologer har också tagit ultraljudet till sin hjälp. Idag används det på ett mångfacetterat sätt och fler och fler kliniska discipliner har intresserat sig för teknikens möjligheter.

Denna översiktliga genomgång visar att ultraljudet blivit ett viktigt instrument för ett flertal kliniker i det diagnostiska arbetet. Ultraljudet har ännu inte

centrerats i någon gemensam diagnostisk enhet, utan varje disciplin har skapat en egen organisation kring tekniken. Ett viktigt undantag är i Sverige bukundersökningar, som tagits hand om av radiologerna. Svenska bukkirurger har inte agerat aktivt för att utveckla ultraljud för bukdiagnostik. Vad som ligger bakom detta blir en intressant fråga att beakta i de följande analysavsnitten (del V).

Ultraljudet befinner sig i ett skede av snabb utveckling, både på den tekniska och kliniska sidan. Dess möjligheter tycks inte på något sätt vara uttömda. I det följande skall vi försöka ge en bild av ultraljudets utveckling till ett medicinskt diagnosinstrument och dess användning inom olika områden. Vi inleder framställningen med en teknisk bakgrundsbeskrivning om vad ultraljud egentligen är och vilka olika tekniska system som utvecklats.

Ultraljudsteknik - en teknisk bakgrundsbeskrivning (2)

Ultraljud är ljudvågor med frekvenser överstigande 20 kHz och är inte hörbara för mänskliga öron (människan kan höra ljud inom 18-20 000 Hz). Däremot finns många djurarter som mycket väl hör dessa ljud och t o m som fladdermusen använder det för att orientera sig i mörker. Ultraljudsvågor som används inom medicinsk diagnostik har frekvenser av miljoner svängningar per sekund, dvs långt ovanför mänsklig förmåga att höra. Medicinskt ultraljud ligger i huvudsak inom frekvensområdet 1 MHz - 15 MHz. Då ljudstötter (pulsar) av ultraljud går genom ett medium reflekteras de enligt samma akustiska lagar som gäller för hörbart ljud. Den diagnostiska tillämpningen av ultraljud sammanhänger med att ultraljudet reflekteras i gränsskikt mellan media med olika akustisk karaktär (akustisk impedans). Ett medias impedans definieras som: Produkten av dess täthet och ljudets hastighet genom mediet.

En egenskap hos ultraljudet är att ju högre frekvenser desto kortare våglängd, vilket man utnyttjar för att få bättre upplösning i ultraljudsbilden och därmed bättre kunna särskilja olika strukturer och organ. Samtidigt begränsas möjligheterna till tillräckligt hög upplösning genom att ljudets inträngningsförmåga minskar i takt med högre frekvenser. Ljudet sprids och absorberas (attenueras) på sin väg genom ett media och hastigheten är direkt proportionerlig mot frekvensen. Därför är det vid de flesta applikationer nödvändigt att kompromissa mellan hög frekvens, och därmed hög upplösning, och inträngningsdjup. De högsta frekvenserna kan endast användas vid undersökning av organ/strukturer som ligger ytligt, t ex ögonen.

En viktig och länge starkt begränsande faktor för möjligheterna till ultraljudets praktiska användning var att olika medias täthet och ljudets hastighet genom det ligger mycket nära varandra. Därmed blir den akustiska impedansen mellan olika vävnader liten och de reflekterade ekona svaga. Exempelvis i gränsskiktet mellan njuren och omgivande fettvävnad reflekteras endast cirka 0,5% av den riktade energin och i gränssytan mellan muskel och blod cirka 0,1%. Ekona är dock i allmänhet tillräckligt kraftiga för att kunna registreras (detekteras) av en känslig mottagare. Å den andra sidan ger gränsen mellan mjuk vävnad och antingen ben eller gas starka reflektioner. Dessa begränsar i vissa fall användbarheten av ultraljud, eftersom dessa starka ekon maskerar svagare ekon från gränsen mellan omgivande mjuka vävnader.

I ett diagnostiskt ultraljudssystem genereras ultraljudspulsen av ett ljudhuvud (probe) som innehåller en eller flera transducers, som fungerar både som

sändare och mottagare, dvs fyller funktionen av både högtalare och mikrofon. Transducern är en elektro-akustisk omvandlare och för att kunna kombinera egenskaperna av både högtalare och mikrofon används som omvandlare piezo-elektriska kristaller. Dessa har egenskapen att ändra dimension vid pålagd elektrisk spänning och omvänt att generera elektrisk spänning vid deformation. Elektriska impulser från den elektriska sändaren omvandlas via ljudhuvudet till snabba mekaniska svängningar. Ultraljudet genereras med en spänningspuls på hundratals volt som sätter kristallen i svängning. Ljudet överförs till mätobjektet, kroppsdelen, genom direkt kontakt. Kontaktolja används för att få bättre ljudöverföring.

Varje gång som ljudvågen stöter på ett gränsområde med olika akustisk karaktär reflekteras en del av ljudvågorna medan resten bryts och fortsätter vidare in i vävnaden. Den ger där upphov till en ny reflektion och brytning. Om gränsen är lodrät till ultraljudsstrålen återgår den reflekterande energin till sändaren. Ljudhuvudet omvandlar sedan en del av energin till elektriska signaler, som via en förstärkare kan tas fram på en visningsenhet eller på ett registreringspapper. De elektriska signaler som bildas i transducern kan vara så små som bråkdelar av en millivolt (en millivolt = $1/1000$ volt).

Vid ultraljud mäter man tidsintervallen mellan det moment då pulsen skickas iväg och då ekot tas emot. Distansen mellan proben och det reflekterande mediet är lika med halva produkten av tidsintervallen och ljudhastigheten (eftersom ljudet går samma sträcka både fram och tillbaka).

Under årens lopp har ett flertal system tagits fram, där med hjälp av mer utvecklad teknik fler och fler organ blivit möjliga att undersöka med hjälp av ultraljudet. Resultatet är att det parallellt existerar olika system som alla fyller en funktion och lämpar sig för speciella frågeställningar och organ.

Bildåtergivningen

Den information som tas upp med hjälp av puls- eko-teknik kan återges på ett katodstrålerör (3) på många olika sätt. Det tidigaste och enklaste systemet kallas A-mode. Vid denna teknik förstärks de mottagna ekona och presenteras på en oscilloskopskärm, där den horisontella axeln kommer att representera tidsintervallen mellan då ljudet sänds ut och reflekteras, dvs återge avståndet mellan det reflekterande mediet och proben. Den vertikala axeln återger ekots styrka.

Att kliniskt tolka en bild återgiven med denna metod kräver lång erfarenhet och framför allt god kunskap om olika strukturers anatomi. En erfaren diagnostiker kan få information om och exakt bestämma t ex hjärnans mittlinje, eftersom normalt denna befinner sig mitt emellan skallens bäge sidor. Om däremot mittlinjen är förskjuten, t ex på grund av en tumör, registreras detta som en tidigareläggning eller förskjutning i registreringen av ekot. Det går också att skilja mellan olika vävnadstätheter genom att t ex mjukvävnad återger svaga ekon, medan en vattenfylld cista knappast ger upphov till några ekon. Tekniken har fått sin främsta användning för hjärtat, ögat och skallen. Dess stora fördel är enkelheten. Eftersom den inte ger någon tvådimensionell information och då ekonas amplitud är beroende av ljudhuvudets vinkel är det mycket svårt för undersökaren att exakt avgöra vilka strukturer som återges. Metoden är därför i

huvudsak lämplig för att lokalisera lätt igenkännbara strukturer såsom hjärnans mittlinje.

En vidareutveckling är B-mode (B = brightness), där ultraljudseket återges som ljuspunkter. Punktens läge motsvarar avståndet mellan proben och mediat, medan dess ljusstyrka är relaterad till ekots styrka. Med denna teknik kan man återge strukturer, t ex ett slående hjärta.

Ljuspunkterna som visas i ett B-mode-system kan flyttas för varje ny eko-registrering och vid upprepade registreringar kommer då ljuspunkterna att synas röra sig på bildskärmen. Rörelsen registreras genom att varje ny registrering göres något vid sidan av den föregående. Systemet säges arbeta i M-mode (M = motion). Bilden kan registreras permanent på ett ljuskänsligt papper som får löpa framför en speciellt utformad oscilloscopskärm.

När proben sekvensiellt riktas i olika riktningar genom hjärtat är det möjligt att bedöma hjärtväggarna och hjärtats struktur och funktion. Metoden har också redan från början använts för undersökning av hjärtat.

Två-dimensionella system

B-scan-systemet bildar också utgångspunkt för två-dimensionell återgivning av tvärsnitt i kroppen. För att erhålla en sådan återgivning monteras proben på en mekanisk scanner som rör sig i två dimensioner. Man låter således ultraljudsstrålen svepa över ett objekt och snittbilden åstadkoms över det snitt ultraljudsstrålen passerar. Avsökningen kan dels ske från en stationär punkt genom vridning av ultraljudsstrålen (sektorscan). Den kan också ske genom förflyttning av proben (linjär-scan). Förbättrade bilder erhålls om man kombinerar manuell sektorscan och linjär-scan i den s k compound-scan-metoden. Vid denna får man tillbaka fler starka ekon genom att dessutom vicka ljudhuvudet fram och tillbaks vid själva undersökningen. För att lyckas fordras dock god träning i hur man skall röra ljudhuvudet.

Scannern ger inte bara data om ekots styrka och avståndet till det reflekterade mediat, utan också om probens position och ultraljudsstrålens riktning. Vid varje position för proben reflekteras ekon från underliggande organ som ligger längs ultraljudsstrålens väg. Eftersom proben successivt flyttas, t ex längs buken, är det olika organ som kommer att ligga längs ljudstrålens väg. Ekonas styrka och ursprung lagras av scannern och när avsökningen är klar återges den samlade bilden och visar informationen i form av ett tvärsnitt av patientens kropp.

Det enklaste och först utvecklade sättet att bygga upp, lagra och återge en tvådimensionell bild är med vanlig fotografi. En kamera riktas mot katodstråleröret och kamerans slutare hålls öppen under hela scanningperioden. På filmen lagras och integreras därmed den samlade informationen.

Återgivning kan också göras på ett katodstrålerör med lagringsmöjligheter. Problemet har varit att befintliga rör inte haft tillräckligt hög kvalitet i gråskalan eller i dess förmåga att återge rörelserna i bilden för att tillfredsställande kunna visa små skillnader mellan ekon av olika styrka från olika strukturer.

Gråskaleåtergivning, som kom under 1970-talet, innebär en markant högre bildkvalitet. I stället för att bara kunna skilja ut förekomsten av ljuspunkt eller inte ges med gråskaleteknik en kontinuerlig skala som presenterar ekonans relativa styrka och som gör det möjligt att se strukturer som man tidigare inte kunnat se. Ekots styrka återges således kontinuerligt längs olika gråskalenivåer.

De flesta scanners lagrar informationen i scan-konverter, som är av två typer: analoga och digitala. Scan-konvertern omvandlar den ursprungliga bildinformationen till en videosignal anpassad till en tevemonitor. En videobandspelare kan lagra signalen.

En analog scan-konverter är en vakuumtub liknande ett katodstrålerör, där den fosforiserande skärmen ersatts med en silikonyta. Denna utgörs av en mosaik av tunna silikonoxidelement, där vart och ett lagrar en informationsmängd motsvarande styrkan i återgivningen i en viss position. Bilden återges sedan på en tevemonitor. Den analoga scan-konvertern har förnämlig upplösning i återgivningen, men kräver stor noggrannhet och erfarenhet vid handhavandet.

De senaste bildbehandlingssystemen är av digital karaktär, där ekonans lägen och styrka representeras av numeriska tal (uttryckta i binär kod). I en digital scan-konverter delas informationen upp på en tvådimensionell matrix med små bildelement, matrisen har vanligen 625 bildelement. Varje sådant bildelement motsvaras av värdet av en kod i datorn. Informationen kan efter sammanställning återges på en tevemonitor och fotograferas av.

Fördelen hos den digitala bildbehandlingen ligger i större möjligheter att lagra information så att den kan bearbetas på olika sätt utan att lagrad information förloras. Digitala maskiner har en begränsning vad gäller storleken hos de tal som kan behandlas. Detta medför en begränsning i bildens upplösning. Bildytan delas upp i bildelement med viss utbredning. Ekostyrkan kan inte visas med fler nivåsteg än vad som kan lagras i minnet för varje bildelement. Denna faktor utgjorde länge en begränsning i de digitala systemens yttupplösning.

Vid flertalet undersökningar hålls proben i direkt kontakt med huden. Detta system är lämpligt för undersökning av bukorgan, även om metoden ställer stora krav på undersökaren, då det gäller förflyttning av proben över buken för att erhålla information om avsedda organstrukturer. Denna typ av scanner passar däremot inte vid undersökning av yttligt liggande organ som sköldkörteln, känsliga organ som ögat och mjuka strukturer såsom kvinnobrösten, som skulle förändra karaktär av trycket från proben.

För att komma förbi dessa svårigheter har tvådimensionella scanners utvecklats där proben rör sig i ett vattenbad och där ultraljudet sänds in i patienten, antingen genom att patienten sänks ner i ett vattenbad eller kontakt skapas med huden via ett mjukt membran som bildar vägg till vattnet. Fördelen med ett vattenbad är att scannerrörelsen kan automatiseras och man kan använda stora prober vilket möjliggör hög bildupplösning.

Realtidssystem

De tvådimensionella scanners som ovan beskrivits, tar mellan 3-15 sekunder för att bygga upp en bild av ett tvärsnitt av kroppen. Därmed är scannern inte lämplig för organ som rör sig, t ex hjärtat. Då behövs ett realtidssystem med

vilket man snabbt får en serie av fasta bilder. När de presenteras som en sekvens av rörliga bilder ges information om organets rörelsefunktion. Realtidssystem kräver dessutom mindre träning än fasta tvådimensionella system hos undersökaren och det anses lättare att tyda bildåtergivningen.

I princip finns två typer av realtidsscanners: sektor- och linjärsanners.

Vid enklaste sektorscansystemet flyttas proben så snabbt fram och tillbaka över patienten att sekvensen av information "fryser" rörelsen i det studerade organet.

Det finns olika system att avlänka strålen. Vid det enklaste roterar eller vibrerar transducern runt ett jämviktsläge så att ljudstrålen sveper över en sektor. Vid det andra har man fasstyrning (phased array). Tidsläget för transducern styrs här hos pulsar till flera små givare så att riktningen hos vågfronten kan varieras i en sektor. Även fokuseringen kan varieras på detta sätt. Någon form av dator ingår som regel i systemet.

Den linjära typen av realtidsscanners har i den enklaste formen mekanisk avlänkning. Men en akustisk reflektor, ett slags spegel, riktas strålen från en roterande transducer så att parallella ljudstrålar bildas som sänds in i kroppen. Detta system är numera mycket ovanligt.

Normalt har idag de linjära realtidssystemen en fast rad av transducers, som sätts i funktion en efter en i snabb följd. Nackdelen är att varje transducer är liten och därmed bara avsöker ett relativt smalt område och ger låg känslighet och dålig upplösning. Problemet kan avhjälpas genom att behandla signalerna med hjälp av en dator eller genom att ha ett stort antal transducers i rad och aktivera dem i grupper av cirka 3-5.

I mer avancerade system kan man med hjälp av elektroniska kretsar automatiskt kontrollera att det sekvensiella utsändandet av signaler från varje element sker adekvat. Mikroprocessorer kan således styra och fokusera ultraljudsstrålen. Återgivningen som byggs upp av så fokuserade strålar har mycket hög upplösning. En kompromiss måste göras mellan antalet linjer och det avsökt områdets utbredning. Objektets rörelser kan bäst rekonstrueras med hjälp av en hög linjetäthet och störningar i återgivningen kan åtgärdas genom att informationen lagras i en digital scankonverter, som gör det möjligt att låta varje linje förstärkas sekvensiellt, utan att behöva utplåna hela återgivningen på samma gång.

Doppler-scanningsystem

Som tidigare sagt är frekvensen hos en reflekterad ultraljudsvåg från en stationär struktur lika med frekvensen från det infallande ljudvågen. Fallet är helt annorlunda för tex strömmande blod och en rörlig struktur som hjärtat. Om ljudvågen reflekteras från ett objekt som rör sig längs axeln av det infallande ljudet skiftar frekvensen pga doppleffekten: våglängden förlängs och frekvensen sänks.

För att mäta dopplereffekter i kroppen sänds ultraljud inte in i form av pulsar utan som en kontinuerlig ljudvåg. Två transducers monteras vid sidan om varandra i proben: en för att sända ut ljudvågorna och en för att ta emot de reflekterade vågorna.

Den mottagande transducern blandas elektroniskt med frekvensen för den utsända ljudvågen. Man kan därmed få ett värde på skillnaden mellan de båda frekvenserna: dopplereffekten. Förändringen i effekt kan vara upp till några tusen hertz och således hörbart. Därför utrustas systemet med en öronmikrofon. Undersökaren kan med hjälp av denna höra en ton vars frekvens motsvarar dopplereffektens frekvens. Vid hjärtat varierar dessutom tonen i takt med hjärtats slag. Den bredaste användningen har doppler-scanning-system för diagnostik av fosterhjärtan. Det är ett mycket värdefullt instrument för att avgöra om fostret är vid liv, vilket normalt är möjligt efter tolfte veckan av graviditeten. Det är också möjligt att bedöma fostrets allmäntillstånd med hjälp av dopplersystemet.

Det är också möjligt att mäta flöden i blodkärl. Probens avsökning sker manuellt och dopplereffekten uppträder enbart när ultraljudsstrålen passerar genom det strömmande blodet. Eventuella blockeringar i ett blodkärl kan bestämmas enkelt genom att lyssna till dopplersignalen.

Med ett enkelt dopplersystem är det i vissa fall svårt att skilja mellan om ljudet reflekteras från en ven eller från en artär eftersom systemet inte kan bestämma riktningen på blodflödet. För att möjliggöra detta kopplas mera avancerade elektroniska instrument till.

Till skillnad från A- och B-scan-system, som ju utsänder pulsar av ljud, kan ett vanligt dopplersystem inte mäta distansen mellan objektet och proben. För att möjliggöra detta har man utvecklat dopplersystem där ljudet sänds ut pulsvis. Liksom med A- och B-scan-metoder mäter man den tid det tar innan mottagande transducers registrerar ekot.

15. INDUSTRIELLT ULTRALJUD

Ultraljudet kom att få sin första tillämpning för materialprovning inom industrin. I detta kapitel behandlas kort denna utveckling, samt nödvändigheten av framsteg inom elektroniken för att praktiskt kunna använda ultraljudet.

Hur ultraljudet får sin första tillämpning inom industrin

De första osäkra stegen mot användning av ultraljud inom medicinen togs efter andra världskriget. Det betyder inte att ultraljud var ett okänt fenomen tidigare. Tvärtom hade det börjat utnyttjas inom industrin och krigsmakten.

Redan så tidigt som 1880 hade bröderna Curie upptäckt att elektriska laddningar uppstod på ytorna av lämpligt skurna kvartsplattor om man tryckte på dessa. Fransmannen Langevin vände på processen genom att applicera ett elektriskt växelfält över kvartsplattan och då uppstod mekaniska svängningar. Genom att avpassa det elektriska växelfältets frekvens till kristallplattans egen frekvens erhöll man genom resonans kraftiga mekaniska svängningar, som utbreddes sig som ljudvågor genom omgivande media. Fenomenet går under namnet Piezo-elektricitet. Vid slutet av första världskriget, 1917, lyckades emellertid Langevin framställa en ultraljudsgenerator med vilken man med hjälp av den tidigare upptäckta Piezo-elektriska effekten kunde fånga upp ekon från de ljudvågor som utbreder sig. (1)

Ett initiativ till att försöka använda korta ljudvågor för att mäta distans togs efter Titanic-katastrofen 1912, när ett lyxfartyg kolliderade med ett isberg på sin jungfruresa till USA och gick till botten med 1500 personer. Katastrofen drog till sig uppmärksamhet och det kom fram idéer om hur man skulle undvika liknande händelser i framtiden. En idé var att använda en ljudkälla i fören på fartyg och skicka ut ljudvågor i färdriktningen, som skulle reflekteras mot ett isberg. Ekot skulle sändas tillbaka mot fartyget och fångas upp med lämpliga instrument. Emellertid var vid denna tidpunkt tekniken för att generera och ta upp ljud mycket dåligt utvecklad och idén kunde aldrig realiseras. Under första världskriget blev tyska ubåtar en fara för den nödvändiga importen till de brittiska öarna. Åter blev upptäckten av föremål under vattenytan ett aktuellt problem och undersökningar startades i syfte att ta fram nödvändig utrustning. (2)

Kriget tog slut innan några praktiskt användbara apparater kom fram, men forskningsansträngningar ledde till upptäckter och tillämpningar som gjorde det möjligt att efter första världskriget få fram utrustning för mätning av vattendjup och att lokalisera fiskstim. Ekometoden erbjuder ett utmärkt sätt att mäta vattendjupet under ett fartyg och kunde därmed ersätta det sekelgamla lodet. Man använde sig av en sändare som fästes under fartygsskrovet på ena sidan om kölen och en mikrofon, som kunde ta upp ekon, på den andra. På fartygets brygga fanns då en roterande glimlampa och ett registreringspapper, som direkt visade på ljudets löptid och därmed vattendjupet under fartygets botten. Man behövde inte någon speciell riktverkan utan enbart god räckvidd och därför kunde man använda sig av relativt låga frekvenser (ca 15 kHz) som kunde åstadkommas med då befintliga sändare. Metoden användes också inom den kemiska industrin för att mäta vätskehöjden i stora behållare. Man sänder en ultraljudsimpuls från behållarens botten upp mot vätskeytan, där ljudet reflek-

teras och återvänder till en i botten anbringad mikrofon som då kan mäta våtskehöjden på samma sätt som man mäter vattendjup.

I mellankrigsperioden utfördes grundläggande forskningsarbete kring ultraljudets karaktär. När andra världskriget stod för dörren fanns en mängd kunskap om ultraljudet och olika sätt att generera och ta upp det på, men praktiska tillämpningar på tekniska eller medicinska problem var fortfarande mycket få. Det hade ännu inte byggts någon ultraljudsdetektor vare sig i USA eller i Europa. Anledningen var främst att nödvändig elektronik inte utvecklats tillräckligt långt.

Andra världskriget innebar en enorm stimulans för utveckling av elektronik och elektroniska instrument. Speciellt radartechnik behövde avancerad pulsteknik, en av hörnstenarna inom ultraljud, och teknik för mätning av mycket små sändningstider. Som ett resultat av utvecklingsarbete inom radarområdet utvecklades oscilloscopet till ett viktigt instrument för att mäta och registrera korta elektriska skeenden.

Under andra världskriget tillämpades en metod att lokalisera u-båtar, som utvecklats i England inom en grupp som gick under namnet Allied Submarine Detection Investigation Committé, ASDIC. Här var problemet svårare än vid mätning av vattendjup, eftersom man både måste bestämma riktningen av och avståndet till en u-båt, vilket krävde en välriktad ljudstråle. Man använde en frekvens av 20 kHz och som sändare ett antal kvartsstavar mellan två stålplattor. I motsats till vid ekolodtekniken fanns ingen separat mikrofon utan man utnyttjade kvartsens egenskap att omvandla mekaniska svängningar till elektriska. På så sätt kunde kvartsplattorna tjänstgöra både som sändare och mottagare för ljudet. Under tiden som ingen signal sändes ut, då kvartsplattan var i vila, anslöts den till en förstärkare, som förstärkte de till kvartsplattan återvända och till elektriska pulsar omvandlade ekona. Med en sådan apparat kunde u-båtar upptäckas på ett avstånd av upp till 5 km. Ultraljudssändaren monterades under fartygets skrov i ett litet hölje på ett sådant sätt att den kunde roteras kontinuerligt med en motor. (3)

Man hade nu stor hjälp av den utveckling som skett inom radarn under andra världskriget, då man kommit ner till pulstider under 10^{-6} sek, och som nu blev tekniskt realiserbara. Det blev därför möjligt för amerikanen Firestone att 1945 konstruera en apparat som med hjälp av en ultraljudsekometod kunde upptäcka materialfel i t ex järnvägsaxlar och gjutgods. Han använde sig därvid av samma princip som gäller för det redan tidigare utvecklade ekolodet. Skillnaden var att Firestone använde ljudpulsar med mycket höga frekvenser, omkring 1 MHz.

Tidigare hade man använt sig av röntgenstrålning vid undersökning av material. Problemet var att mycket små sprickor inte kunde avslöjas och mycket tjocka material var svåra att penetrera, då röntgenstrålningen absorberas nästan helt. Ultraljud, däremot, absorberas relativt lite i t ex järn och stål.

Ultraljudsmetoden har fått en bred användning inom industrin för kontroll av eventuella materialfel. Förutom inom stål- och järnindustrin används den vid t ex kontroll av högspänningsisolatorer av porslin, betongkonstruktioner och faktiskt för att mäta fettjocklek hos grisar.

När tekniken att svetsa istället för att nita samman stålkonstruktioner växte fram efter andra världskriget ökade behovet av att undersöka eventuella konstruktionsfel.

Kärnkraftens framväxt under 1960- och 70-talen ökade också efterfrågan på avancerade former på materialundersökning. Detta tillämpningsområde är idag ett av de absolut viktigaste. Eventuella sprickor i ett reaktorkärl kan vara farliga, då sprickor kan vidgas och t o m i extremt fall spränga ett helt kärl.

Den i Sverige 1941 bildade Tekniska Röntgencentralen (TRC) växte mycket kraftigt i takt med den svenska satsningen på kärnkraft och hade 1976 cirka 500-600 anställda. Organisationen har sedan minskat och sysslar idag enbart med materialundersökning för kärnkraftsindustrin, medan materialundersökning inom annan industri, vilket var det tidigare verksamhetsområdet, sköts via särskilda nyligen startade riksprövningsanstalter. Det är också vanligt att de större industriföretagen, såsom Volvo Flygmotor och Bofors, byggt in provning med ultraljud i produktionsprocessen. Man provar således utgångsmaterialet vid vissa steg i tillverkningsprocessen.

De tre viktigaste användningsområdena för ultraljudet inom industrin är idag:

- o Valsade och snidade material samt gjutgods
- o Provning av svetsar
- o Tjockleksmätning av reaktorkärl, cisterner, fartygsskrov, etc

En industri skapas kring ultraljudet

Ultraljudsutrustning för materialprovning började under 1950- och 60-talen bli vanlig. Därmed tilldrog sig tekniken intresse från industrin och det amerikanska företaget Sperry-Rand tog upp ultraljud på sitt tillverkningsprogram. I Europa hade det tyska företaget Kraut-Krämer tillverkning. Det hade startats av två bröder i Köln, som till utbildningen bägge var ingenjörer. Efter andra världskriget konstruerade de ultraljudsapparater för materialprovning och startade Kraut-Krämer. Företaget hade i Ruhr-området en snabbt växande kundkrets i den tyska stålindustrin. Även inom Siemenskoncernen tillverkades ultraljudsutrustning för materialprovning och företaget var således konkurrent till Kraut-Krämer. Det senare företaget låg närmare de stora kunderna och hade en fördel i snabbare service. Siemens, som hade sin bas i Erlangen, drog sig bort från marknaden redan 1956.

Idag finns ett stort antal tillverkare av ultraljudsutrustning för materialprovning, bl a de tyska Kraut-Krämer och Carl Deutsch.

Ett viktigt bidrag till ultraljudets spridning är att tillverkarna inte bara tillhandahållit hårdvara utan kanske främst utvecklat metoder och kringutrustning för undersökningens genomförande och inte minst för lagring och återgivning av informationen.

Inom den ovan nämnda Tekniska Röntgencentralen bygger och utvecklar man utrustning för kärnkraftsområdet. I samband med att TRC utförde provnings-

arbete vid byggandet av Ågesta-reaktorn 1963 tvingades man utveckla stänger och hävarmar för att kunna undersöka på svåråtkomliga ställen. Successivt har man utvecklat specialdesignad utrustning för området i samarbete med Ångpanneföreningen och ett kontraktsforskningsinstitut i USA, South West Research Institute. TRC har byggt specialutrustning inte bara för svenska kärnkraftsföretag utan också exporterat sitt kunnande till Finland, Spanien, Tjeckoslovakien och Belgien. I det senare fallet en utrustning till en forskningsreaktor.

TRC har också utvecklat ett nytt avancerat datasystem för lagring och informationsbehandling, som färdigt beräknas kosta ca 5 mkr. I detta lagras informationen analogt, för att kunna bevara data i rådataform. Mikroprocessorer övervakar automatiskt bildskärmarna och därmed slipper man ha personer som sitter framför bildskärmarna under hela undersökningen, som vid provning av en reaktorkärl tar flera timmar i anspråk.

Det är således dokumentationen av ultraljudsundersökningar och inte själva ultraljudsutrustningen som sådan som är det område där den främsta utvecklingen pågår. Inte minst signalbehandlingen med hjälp av datorer är ett viktigt utvecklingsområde. Man tror också, liksom inom den medicinska tillämpningen, på phase array-metoden, där man har ett stort antal kristaller parallellt efter varandra som aktiveras sekventiellt. Man tror att det skall bli möjligt att mera exakt bedöma felaktigheter i material.

16. ULTRALJUDETS MEDICINSKA TILLÄMPNING

I detta kapitel behandlas ultraljudets utveckling till ett medicinskt diagnos-instrument med bred användning. I kapitlets senare del ges också en bild av den framväxande ultraljudsbranschen.

Hur man börjar använda ultraljud som medicinskt diagnosinstrument

Efter andra världskriget stod det klart att de nödvändiga tekniska förutsätt-ningarna för att använda eko-principen inom medicinen existerade. Denna möjlighet insågs av ett flertal medicinska forskningsgrupper, främst i USA, men också i Europa, Japan och Australien.

Till viss del från 1940-talet, men i huvudsak från 1950-talet uppstod det en mängd forskningsgrupper, ofta med kombination av medicinare och tekniker, som experimenterade i ultraljudets möjligheter att återge olika vävnader och organ i människokroppen. Riktigt när, var och hur det började är svårt att få en detaljbild av. Man kan bara konstatera att från mitten av 1950-talet uppkom en livlig forskning kring ultraljudets medicinska möjligheter. En ryss, Sokolov, lär redan 1937 ha föreslagit att använda ultraljud i diagnostiskt syfte. Någon praktisk tillämpning kom dock inte fram. (1)

Tidiga försök gjordes under 1940-talet med att få bilder av skallen. Olika tekniker provades, bl a transmissionsteknik, där sändare och mottagare placerades på ömse sidor om undersökt organ. I huvudsak avsåg försöken forskning av grundläggande karaktär. Några patienter var inte inblandade i detta tidiga skede utan experimenten gjordes på provmaterial. Andra tidiga försök avsåg studier av hjärtats volym under olika stadier av hjärtcykeln.

Kring 1950 avser försöken i första hand reflektionstekniker, dvs när sändare och mottagare placeras på samma sida om det undersökta organet, dvs i huvudfallet när en transducer fungerar både som sändare och mottagare. Man fortsatte studierna av hjärnan och tittade på möjligheterna att återge eventuella hjärntumörer. Studier av brösttumörer var ett ytterligare undersökningsområde. Alla dessa försök avsåg endimensionella metoder. Redan 1952 började man emellertid experimentera med tvådimensionell återgivning genom att låta ljud-huvudet röra sig i två olika riktningar samtidigt.

Röntgenläkaren Douglas Howry och medicinaren Joseph Holmes experimen-terade redan från 1955 med tvådimensionell teknik och startade med undersök-ning av bukorgan. Howry hade startat sitt forskningsarbete 1948 tillsammans med en tekniker från ett litet företag i Denver, Denver Research Institute and Decimeter. I detta arbete kunde de fastställa att ultraljud reflekterades i gränsskiktet mellan fett och muskel och att de reflekterade ekona kunde återges på en skärm. De konstruerade en scanner, där undersökningsobjektet sänktes ned i vatten och transducern flyttades runt vattentanken längs en träjärnväg. En del av en undersökt arms strukturer kunde avbildas, men ekoåtergivningen saknade en tvådimensionell karaktär som kunde underlätta för undersökaren att tyda bilderna. (2)

Därför utvecklade de en compound scanner, där transducern rördes i två olika rörelseriktningar samtidigt. Därmed blev det möjligt att återge strukturerna

mera fullständigt. Vid denna tid, 1952, hade också Holmes börjat arbeta tillsammans med denna forskningsgrupp vid University of Colorado. Denna tvådimensionella scanner konstruerades vid Denver University Research Center och liksom vid den endimensionella tekniken placerades objektet i en vatten-tank. Metoden var omöjlig att använda vid undersökning av sjuka patienter. Därför utvecklade de ett scanningsystem bestående av en halvcirkelformad skål. Patienten spändes fast mot ett plastfönster och mineralolja ströks på huden för att skapa direktkontakt. En tandläkarstol höjde och sänkte patientens läge.

Med detta komplicerade system lyckades man få god återgivning av lever, njure, gallblåsa samt bröstet. Denna forskargrupp fortsatte att utveckla sitt scanningsystem och applicera det för klinisk användning vid bukdiagnostik.

Två andra aktiva amerikanare i ett tidigt skede var John Wild och John Reid. Wild tillhörde den kirurgiska kliniken vid University of Minnesota och hans första intresseområde gällde mätning av tarmtjocklek med hjälp av ultraljud. Emellertid koncentrerade Wild och Reid sig på att diagnostisera bröstsjukdomar. De kunde med hjälp av både A- och B-scan visa att en brösttumör har ekokarakteristika som starkt avviker från normal bröstvävnad. De utvecklade ett flertal modeller av scanners för bröstdiagnostik. En använde en roterande transducer som rörde sig under bägge bröstet, som var nersänkta i en vattentank. Ett annat system arbetade med två transducers, där bägge rörde sig horisontellt under ett av bröstet. Vid ett tredje rörde sig transducern fram och tillbaka ovanför bröstet och ett plastfönster i vattentankens botten gav förutsättningar för ljudkontakt.

1955 utvecklade Wild också en scanner för tarmundersökningar och konstruerade ett system med dubbla transducers för hjärtundersökningar. (3)

Banbrytande svenskt arbete inom hjärtdiagnostik

Fr o m 1950-talets början bidrog två forskare från Lund, fysikern Hellmuth Hertz och hjärtmedicinaren Inge Edler med banbrytande insatser i utvecklandet av ultraljud till ett viktigt diagnosinstrument vid hjärtundersökningar. För att få en djupare bild av hur utvecklingsarbetet såg ut i det tidiga skedet skall vi i det följande något mera i detalj studera det forskningsarbete som dessa bägge personer drev. Det blir dock nödvändigt att löpande göra vissa internationella utvecklingar för att öka förståelsen av ultraljudets utvecklingsprocess.

Vi låter först Edler berätta om hur han fick kontakt med ultraljudet:

"I början av 50-talet började professor Philip Sandblom i Lund operera patienter med förvärvade klaffar, där man hade en förträngning eller partiell sammanväxning av klaffarna mellan vänster förmak och vänster kammare (mitralistenos). Den preoperativa diagnostiken och utredningen hade jag hand om. Ett av de svåraste problemen var att skilja klaffförträngning från bristande stängningsförmåga i klaffarna. Förträngning kunde med framgång opereras. Den bristande stängningsförmågan (insufficiens) kunde man vid denna tid ej behandla kirurgiskt. Denna bristfälliga diagnostik fann jag synnerligen otillfredsställande och sökte efter en metod för säkrare diagnos. Vid bristfällig stängning av klaffarna strömmar blod

i felaktig riktning tillbaka till förmaket vid varje kammarkontraktion. Detta gör att förmaket expanderar vid varje hjärtslag. Min tanke var att man med hjälp av radar eller ekolodning skulle kunna mäta denna expansion av förmaket.

Problemet diskuterades med en fysiker (Cederlund), som emellertid ej kunde ta ställning till frågan, utan förmedlade kontakt med Hellmuth Hertz, som just hade specialstuderat ultraljud för att få spets på sitt fysikbetyg.

Hertz ansåg att radar aldrig kunde komma upp i så hög svängningsfrekvens att det gick att använda för dessa mätningar. Däremot ansåg han att det fanns 50% chans att man skulle kunna använda reflekterat ultraljud. Man använde metoden för materialprovning inom industrin. Hertz besökte en firma i Malmö som hade en dylik apparat och placerade transducern på bröstkorgen framför hjärtat. Han konstaterade att det gick att få ekosignaler från strukturer, som måste representera hjärtat. Vi fick låna apparaturen över en week-end och undersökte en patient med mitralisinsufficiens. Vi fick ekosignaler, som rörde sig synkront med hjärtaktiviteten och emanerade från några strukturer, på cirka 10 cm. avstånd från transducern på bröstkorgens framsida. Detta var i maj 1953." (4)

Hellmuth Hertz ger sin bild av hur de fick kontakt med varandra:

"Jag satt som assistent i Lund vid fysiska institutionen och intresserade mig för ultraljud. 1953 träffade jag av en tillfällighet läkaren Edler som var kardiolog (hjärtmedicinare). På den tiden hade man börjat operera klaffel på hjärtat. Detta är oftast komplicerade fel, där det är svårt att skilja ett fel från ett annat. Man ser t ex på kontraströntgen inte så mycket av klaffarna. Vidare hade man hjärkateterisering där man mätte trycket i hjärtat. Någon tillräckligt säker diagnos var inte möjlig att få med dessa metoder. Man vet hur det är när läkaren skall operera. I teorin är det patienten som skall bestämma och ha ansvaret, men han har oftast ingen chans att göra detta. Edler, som är en läkare med stor ansvarskänsla, upplevde detta som en belastning att man kanske kunde ha fel i sin diagnos. Han frågade mig om jag visste om ultraljud kunde tänkas vara en möjlighet för att studera hjärtat. Jag visste då att det fanns en apparat i Malmö på en teknisk röntgencentral, som hade ansvar för all materialprovning på Kockums varv. Jag åkte dit och provade ultraljudsapparaten på mitt eget hjärta. Detta visade sig gå ganska bra och jag berättade detta för Edler. Vi fick sedan låna apparaten en lördag och söndag och använde den på patienter. Vi såg att ultraljudet gav bättre information på förstörade hjärtan. En svaghet var att vi då inte hade disputerat någon av oss. Vi var s k icke-graduerade forskare och på den tiden fanns inga möjligheter att själv utan hjälp av någon professor söka forskningsmedel. Du vet också hur det är med idéer på ett sådant tidigt stadium. Utrustningen såg konstig ut och i början var den mycket primitiv. Därför gällde det att man redan första gången har hittat en god sak. Det skulle kosta oss cirka 15.000 kronor, och vi hade inga möjligheter att

hosta upp dessa pengar. Summan motsvarar väl cirka 80.000 kronor nu." (5)

Tack vare sina personliga förbindelser inom Siemens-koncernen, närmare bestämt med Siemens Reineger-Werke i Erlangen, lyckades Hertz övertyga en ledande person inom den medicinska enheten att låna ut en ultraljudsapparat under ett år för experimentsyften. Först av allt måste de förvissa sig om att hjärtväggarna reflekterade ultraljud. De visade att gränsskiktet mellan blod och hjärtats väggar reflekterade ultraljud. Därefter gick de över till att undersöka patienter och fann genast att tekniskt utvecklingsarbete var nödvändigt för att erhålla information som kunde användas i det praktiska diagnosarbetet. För detta syfte byggdes en kamera för att på en film kunna registrera hjärtstrukturernas rörelsemönster. En kamera placerades framför ultraljudsapparatens oscilloskop och en film fick passera med konstant hastighet, varvid en kurva erhöles. Denna kurva kom att kallas ultraljudskardiogram. Man kunde på samma film registrera EKG, och ultraljudskurvan kunde således korreleras till EKG. De kurvor man fick fram på detta sätt visade sig ha medicinskt värde. Man lyckades också binda samman utseendet på kurvorna med vissa allvarliga hjärtfel. Eko som emanerade från ett hjärta hos en frisk person gav endast fragmentariska kurvor, medan ekona blev starkare från patienter med mitralisfel (klaffel). Våren 1954 publicerade Hertz och Edler en artikel om undersökningarna av hjärtat och kom därmed att ligga 5-6 år före amerikanerna i utvecklingen av ultraljud för hjärtdiagnostik.

Under senare hälften av 50-talet vidareutvecklades användbarheten så att man kunde registrera kurvor från samtliga fyra klaffregioner, vänster kammars utflödesregion, aortas proximala del och diagnostisera vätskeutgjutning i hjärtsäcken samt tumör i förmaket. På den tredje Europeiska Cardiologkongressen i Rom 1960 visade Edler, Gustafson, Karlefors och Christensson en vetenskaplig film om dessa resultat.

Ultraljud börjar också användas för skallundersökningar

Parallellt finns en andra historia att berätta. I början av 1950-talet var professor Lars Lecksell chef för neurologiska kliniken i Lund. Han hade gjort allvarliga försök att finna en metod att diagnostisera sjukdomar som uppkommit i samband med slag mot huvudet.

Hertz berättar om hur man i Lund började använda ultraljud för skalldiagnostik:

"Vid patienter som fått kraftiga slag i huvudet saknades ett bra diagnosmedel. Till en början reagerar dessa patienter inte annat än att de kanske blir mentalt borta en stund och svimmar av. Sedan händer inte så mycket, förrän efter 2-3 dagar, då en blödning har utvecklat sig som trycker på hjärnan. Sedan försämras patientens tillstånd och utan behandling dör hon inom 2-3 timmar. När man vet om en sådan blödning vill man veta var den sitter. Lecksell tänkte på ultraljud och hade tänkt skaffa en engelsk ultraljudsapparat, men detta hade misslyckats. Samtidigt kände han till att man gjort goda studier på hjärtat med ultraljud vid Lunds lasarett. Vid den tiden hade lasarettet ett mindre antal läkare, som dessutom satt i sin egen matsal och därmed kom i kontakt med varandra.

Lecksell kände alltså till ultraljudets historia och när han fick en patient, en flicka, där han inte visste hur skadan satt och då hon hade påtagliga symptom körde han över henne till kardiologen och undersökte henne med ultraljudsapparaten. Han kunde se var blödningen låg och gick sedan in i hjärnan och hittade blödningen på detta ställe. Han räddade därmed flickans liv. Sedan skaffade Lecksell en egen apparat. Han utvecklade en metod för detta ändamål, som kom att benämnas ekoencofalografi. Ultraljudsdiagnostik av hjärtat kom att benämnas ekokardiografi." (6)

Ultraljudsdiagnostik av skallen utvecklades till en betydande verksamhet och gick i början snabbare än för hjärtat. Vid skallen hade man en i viss mån enklare frågeställning att arbeta efter: "Finns det en blödning eller inte?"

Redan vid slutet av 1940-talet hade neurokirurgen Ballentine vid Massachusetts General Hospital och Hueter, som var ingenjör inom Siemens, börjat experimentera med ultraljud för undersökning av skallen. Idén hade de fått via några artiklar författade av den österrikiske läkaren Dussick, som prövat ultraljud för diagnostik av skallens inre.

Ballentine och Hueter försökte använda ultraljud som diagnostiskt instrument inom neurokirurgi och experimenterade med en skalle nedsänkt i ett vattenbad. De kunde visa att de ultraljudsavbildningar som Dussick fått vid in vivo-studier motsvarade de man fick av ett kranium. Därmed gjorde de bedömningen att det behövdes dataanalys för att kunna beräkna och återge den attenuering av ultraljudsstrålningen som uppträdde vid dess väg genom en normal skalle. De utvecklade och hade framgång med en transmissionsteknik, men utrustningen och tidsåtgången gjorde metodens användning i kliniskt bruk omöjlig, varför deras utvecklingsarbete lades ned. (7)

Metodens kliniska användning utvecklades av ett flertal kliniker i bl a Sverige, England och Holland.

Några tidiga försök med fosterdiagnostik

En ytterligare utvecklingsväg var att pröva ultraljudet för fosterdiagnostik. De positiva resultat som Edler och Lecksell fått vid studium av respektive hjärtat och skallen kom att diskuteras vid lunchbordet. Som ett resultat kom Alf Sjövall, som var professor på kvinnokliniken i Lund, överens med Lecksell att man skulle prova ultraljudsmetoden vid diagnos av tidiga graviditeter. Han uppmuntrade en av sina yngre kollegor, Bertil Sundén, att undersöka ett antal graviditeter med en vanlig endimensionell A-mode teknik, men fick inte fram några verksamma resultat. Emellertid fanns i Glasgow, Skottland, vid samma tid Ian Donald, som initierade egna studier 1954-55. Han blev vid försök med patologiska preparat övertygad om att man med ultraljud skulle kunna skilja tumörvävnad från normal vävnad. Han lånade en A-mode utrustning från en kollega och kunde med denna återge bl a cyster. Hans mest framgångsrika arbete bestod av att bestämma biparetaldiametern hos fostrets huvud och på så sätt möjliggöra en uppskattning av fostrets vikt och bedöma dess tillväxt.

1957 konstruerade han och ingenjören Brown vid Kelvin Hughes, en två-dimensionell compoundscanner, som monterades på ett bord som placerades ovanpå patienten. För att få fram ett snitt, manövrerades transducern för hand

under bordsskivan. 1960 utvecklade de en mekanisk sektorscanner. Tolv av dessa kom att produceras inom Smith Industrial i Glasgow. (8)

Sundén, som kände till Donalds arbete, åkte på en treveckors vistelse till Skottland för att studera ultraljudsteknik och som ett resultat ansökte kvinnokliniken i Lund om forskningsmedel för inköp av en av de av Donald och Brown byggda tvådimensionella ultraljudsapparaterna. Den levererades till Lund hösten 1961.

Till en början utförde Sundén noggranna studier av eventuell förekomst av negativa effekter från ultraljudsstrålarna och använde sig av gravida råttor. Han fann inga sådana effekter, vilket också bekräftades av de 400 första kliniska fallen. Baserat på dessa data fastslog han att ultraljud var en säker diagnosmetod för fosterdiagnostik. (Huruvida ultraljud har några skadliga effekter på vävnad har senare satts under livlig diskussion.) Han demonstrerade också dess kliniska användbarhet och visade på typiska ultraljudsbilder av tvillingar, gynekologiska tumörer och olika slags cystor.

Några andra tillämpningsområden för ultraljud

Under 1950-talet arbetade ett flertal grupper med studium av ögonen med hjälp av ultraljud. Mundt och Huges var två forskare som beskrev användningen av A-mode vid diagnostik av ögonsjukdomar. Ocksala, Finland, beskrev en serie studier där han studerat ultraljudets förmåga att återge främmande strukturer i ögat. Baum byggde tillsammans med ingenjören Greenwood en compound-scanner. De använde sig liksom flertalet andra vid denna tidpunkt av ett vattenbaserat system. De kunde återge tumörer och bestämma deras storlek, utseende och läge. Det fanns ytterligare några forskargrupper inom ögon-diagnostik vid denna tidpunkt. (9)

I Japan startade också tidigt försök med diagnostiskt ultraljud. Den tidigaste användningen var här annars lokalisering av fiskstim och inte för materialundersökning. Tidigt, redan 1955, beskrev Nimura och Satamoto ett avancerat arbete med dopplertekniken för hjärtstudier. Andra, Tanaka, Wagay och Oka, forskade inom skalldiagnostiken och inom tarmundersökning var andra japaner tidigt långt framme.

I juni 1962 gjorde professor William Fry vid University of Illinois, School of Electrical Engineering en viktig insats genom att anordna ett symposium i ultraljudsdiagnostik av hjärtat. (10) Genom stöd från olika fonder blev det möjligt för vetenskapsmän, som arbetade med ultraljud inom medicin, att komma samman och diskutera sina resultat. Mötet bekräftade att ultraljudsforskningen var mycket längre kommen i Sverige än i USA vid denna tidpunkt. Edler publicerade också sin doktorsavhandling om ultraljudsdiagnostik av hjärtat 1961.

Fry, som var ingenjör, hade under hela 1950-talet studerat de medicinska applikationerna av ultraljudet. Han forskade bl a i möjligheterna att studera neurologiska förändringar hos katter som fått hjärnskador. Han använde sig här av en teknik där en serie av tre till fem fokuserade transducers alla riktades direkt mot en speciell punkt i hjärnan.

Fry's arbete medförde att ett forskningsprogram etablerades inom University of Iowa där man studerade möjligheterna att behandla Parkinsons sjukdom genom att med hjälp av ultraljud medvetet skapa knapptålhuvudstora skador i hjärnan. Samma metod användes för att försöka förstöra hjärntumörer. Tekniken visade sig emellertid bara vara användbar i fall där en bit av skallbenet tagits bort, men inte vid en intakt skalle.

Under 1960-talet börjar en industri kring medicinskt ultraljud växa fram

Till en början använde olika forskargrupper i huvudsak industribyggd utrustning för materialprovning som vidareutvecklades inom ramen för forskningslaboratorier. Denna typ av apparater var inte speciellt väl anpassade för kliniskt bruk. Det var därför ett viktigt steg när industrin i början av 1960-talet började intressera sig för medicinskt ultraljud och anpassade och utvecklade befintlig teknik för att möta speciella krav från det medicinska fältet. En viktig faktor var den ökande användningen av transistorer i utrustningen, vilket gjorde den mindre och mera tillförlitlig. Under 1950-talet hade också ett markant framsteg tagits när Siemens utvecklade transducers som innehöll mottagarenheter av titan istället för kvartskrystaller, vilket gjorde det möjligt att få en mera detaljerad återgivning. Olika tekniska förbättringar växte fram med ett flertal upptagnings- och sändningssystem parallellt. Detta försvårade till viss del jämförelsemöjligheterna mellan olika forskargrupperns kliniska resultat.

Fr o m 1962 tog amerikanarna över ledarskapet i utvecklingsarbetet för ultraljuddiagnostik av hjärtat. Först 1960 hade Claude Joyner vid University of Pennsylvania och Howry vid University of Colorado konstruerat den första ultraljudsapparaten för hjärtat i USA. Joyner, som var läkare, arbetade tillsammans med John Reid. Tillverkning av utrustning togs upp av Sperry-Rand och Smith Cline. Sperry-Rand, som tillverkade utrustning för materialundersökning, lyckades aldrig bygga upp någon lönsam medicinsk enhet och finns inte längre kvar på marknaden. Smith Kline, som tillverkade den första kommersiella ultraljudsapparaten för hjärtundersökningar i USA 1964, är ett stort läkemedelsföretag, som startade genom att köpa upp den av Joyner och Reid utvecklade apparaten. (11)

Forskargruppen kring Howry och Holmes byggde tvådimensionella system och startade egna små företag för utveckling av tekniken. Det ena köptes upp av det amerikanska röntgenföretaget Picker, medan det andra specialiserade sig på ultraljudskrystaller.

Siemens startade i samband med att Hertz som ett slags besökande forskare under en ettårsperiod 1954-55 hjälpte upp starten av en ultraljudssektor. De konstruerade tre apparater i forskningssyfte, som placerades hos tre tyska hjärtläkare. En av dem var Sven Effert, som blev en av pionjärerna i Tyskland. Satsningarna ledde inte till några kommersiella framgångar och ultraljudet lades på sparlåga under perioden 1956-75. Vid mitten av 1960-talet hade man en apparat, Vidoson, med en roterande kristall i ett vattenbad. Strålen reflekterades gentemot en parabolisk spegel som reflekterade ljudstrålarna parallellt in genom kroppen. Den såldes för gynekologiska och bukundersökningar. Därernot hade Siemens inte någon egen compoundscanner. Man sålde på licens för Kretz-Technik, Österrike, och senare för det japanska ultraljudsföretaget Aloka. 1975 lanserades en realtidsscanner av linjär typ. Den var relativt stor och klumpig och såldes endast i några enstaka exemplar och Siemens låg still på marknaden till 1979-80, då man gick ut med en sektorrealtidsscanner. Siemens

har nyligen också köpt Searle's medicinsk-tekniska enhet, d v s gammakamera- och ultraljudssystem. Härmed fick man åter en linjär realtidsscanner på programmet.

Vid mitten av 1960-talet fick hjärtmedicinaren Feigenbaum, Indianapolis, upp ögonen för ultraljudets diagnostiska betydelse för hjärtat. En av hans viktigaste insatser var att starta kurser i ultraljudsdiagnostik, en faktor som snabbt spred intresset i USA.

Ultraljudet får sitt stora genombrott under 1970-talet

Under 1970-talet utvecklades ultraljudet mycket snabbt i takt med elektronikens landvinningar. Tekniken blev accepterad som ett värdefullt diagnos-instrument och applicerades inom ett flertal områden. Speciellt forskades mycket 1973-74 i ultraljudets möjligheter att återge njurarna och levern och något eller några år senare studerades bukspottskörteln. Vid denna tidpunkt hade gråskaletekniken blivit allmän och fanns i de flesta av de system som företagen erbjöd. Realtidssystem lanserades 1977-78, både av mekanisk och elektronisk karaktär. Redan 1973 hade linjär respektive phase array fokuserade transducers lanserats. Innan gråskaletekniken hade man s k bistabil bild, d v s där man på bilden endast kunde skilja mellan ljuspunkt och ingen ljuspunkt. Med gråskaleteknik blev det möjligt att skilja mellan t ex en vätskefylld och solid tumör och att identifiera vätskefyllda strukturer ned till 2 mm i diameter. Genom realtidsteknik kunde man studera hjärtats rörelser och blodflöden utan några som helst kroppsliga ingrepp och följa graviditetens utveckling kontinuerligt utan att ta till några farliga instrument. Fostrets tillväxt kan studeras i detalj och man kan t o m fastställa könet.

Ett av de viktigaste bidragen som gråskale- och realtidstekniken gav, var möjligheterna för även icke mycket avancerade ultraljudsexperter att tolka en ultraljudsundersökning. En läkare, Kossoff, har i en artikel uttryckt detta på följande sätt:

"However it is probably the transformation of the schematic sections that used to be obtained with bistable equipment to images that resemble anatomical sections that has played the greatest role in acceptance. Ultrasonic images can now be interpreted by less well trained personnel and the referring physician no longer regards the interpretation of ultrasonic images as some form of educated guess-work. We must remember that the majority of patients are referred for examination by physicians who have little expertise in ultrasound, and anything that can be done to improve their appreciation of the value of the ultrasonic information will increase the number of patients that are referred for examinations.

The original grey scale technique developed in our Institute was implemented on mechanized scanners using a photographic film as a display. The technique was also applied in our Institute on manually scanned equipment. This equipment was operated by skilled sonographers and in their hands the technique provided high quality images. Unfortunately the magnitude of an echo displayed on an integrating device such as a photographic film also depends on the speed of scanning and the degree and the nature of their scan. Thus less consistent results are obtained with less well trained personnel. The major impact of scan converters has been to reduce the

dependence of the quality of manually scanned images on the skill of the operator. This development which produces reliable results in average hands, has played an important role in the acceptance of the grey scale technique. Automation will have a significant role because it will ensure that a constant speed and scanning pattern is undertaken in all procedures and thus provide repeatable images." (12)

Bukdiagnostik med ultraljud är en sen tillämpning i Sverige

I linje med de tidiga utvecklingsinriktningarna fick ultraljudet i Sverige sin första och mest intensiva tillämpning vid gynekologisk- och hjärtdiagnostik. Inom det förstnämnda området intog Malmö Allmänna Sjukhus länge en särställning och på dess kvinneklinik gjordes de flesta ultraljudsundersökningar av foster i världen. På samma sätt var i Lund ultraljudsdiagnostik för hjärtat under 1960-talet bland de främsta i världen.

Ultraljudet kom, som vi har sett, att få sina första medicinska tillämpningar inom andra kliniker än röntgen. Idag är det utspritt på ett flertal discipliner, som skapat egna specialiteter kring tekniken. Flertalet region/universitetskliniker har idag ultraljud förutom för hjärta och gynekologi, på ögonklinik, öronklinik, klinisk fysiologisk klinik och i vissa fall på urologisk och medicinsk klinik.

Först fr o m 1970-talets mitt, och företrädesvis under de tre-fyra senaste åren, har man från röntgenkliniker i någon större utsträckning intresserat sig för ultraljudet och anskaffat egen utrustning.

Nu har däremot många röntgenkliniker, på regional såväl som central och centraldelslasarett, ultraljud för bukundersökning. Efterfrågan på ultraljud från röntgen svarar idag för en betydande andel. Denna snabba förändring har inträtt på några år i takt med att buken blivit möjlig att framgångsrikt diagnostisera med ultraljud. I Sverige har också bukdiagnostiken först utvecklats i samband med att röntgenprofessionen tagit hand om ultraljudet.

Det har uppstått en diskussion om var ultraljudet organisatoriskt skall placeras. Från visst röntgenhåll menar man att det borde centraliseras till röntgen, som en naturlig diagnosenhet inom sjukvården. Dessa tankar har bl a presenterats inom Lunds lasarett och Malmö Allmänna Sjukhus. Man har också försökt placera ultraljudsutrustningen centralt på röntgen med gemensam användning av hjärt- och röntgenläkare. Någon omorganisation har ännu inte kommit till stånd, då olika kliniker vill behålla sin egen utrustning och att man menar att det inte går att släppa ultraljudet beroende på den omfattande verksamheten som utvecklats inom respektive disciplin.

I Danmark utvecklades tidigt ultraljud för buken

Ultraljud för bukdiagnostik tog, till skillnad från i Sverige, tidigt betydande utvecklingssteg i USA och till viss del i Danmark. I det följande skall vi kort studera det arbete som bedrevs av urologen Hans-Henrik Holm vid Herlev Sjukhus utanför Köpenhamn.

Holm kom omkring 1965 av en tillfällighet i kontakt med ultraljudet. Han såg en tidskriftsartikel som behandlade diagnostiskt ultraljud och tyckte att det verkade spännande och sökte medel från forskningsfonder för att kunna pröva

teknikens möjligheter inom bukdiagnostik, primärt för njurarna, och utvecklade ett samarbete med ett institut som utvecklat ultraljud för att mäta fettjocklek hos grisar. Han fick här hjälp med det tekniska utvecklingsarbetet och ett formellt samarbete etablerades. Holm åkte också till Lund, till professor Hertz, och fick råd om hur han skulle bygga sin första apparat. Under årens lopp byggde forskargruppen kring Holm ett flertal modeller och olika tekniska lösningar prövades. Vid mitten av 1970-talet köpte det danska företaget Brüel-Kjaer upp ultraljudsverksamheten från ovan nämnda institut. Därmed gick också samarbetet med Holm över till Brüel & Kjaer.

Ett formellt avtal mellan Herlev sjukhus och Brüel & Kjaer etablerades, då man fann det praktiskt att ha ett närmare samarbete mellan ultraljudsavdelningen på Herlev sjukhus och ett privat företag. Man lyckades få bort tanken att amterna (den danska motsvarigheten till län) inte skulle knyta speciella kontakter med något visst företag. Avtalet stadgade att ultraljudsavdelningen inom Herlev sjukhus löpande skulle sälja nya idéer till Brüel & Kjaer. Vid en eventuell kommersialisering av idéerna fick ultraljudsavdelningen ett garanterat minimibelopp. Vidare fick man tillgång till Brüel & Kjaers alla nyheter och ett exemplar av all utrustning som företaget utvecklade.

Ultraljudsavdelningen inom Herlev sjukhus lades utanför röntgenkliniken, som en underavdelning till kirurgin. Holm berättar om avdelningens placering och om vikten av att göra ultraljudsdiagnostiken till en särskild disciplin:

"Avdelningen hör nu till den kirurgiska kliniken men vi vill ha den självständig. Någon hjälp med att bygga upp avdelningen har vi inte fått av röntgenologerna. De har reagerat sent på ultraljudet. Vi har varit en grupp kliniker som arbetat med ultraljud i 15 år. Vi har tyckt det varit rimligt att arbeta utan radiologer. Till en början var dessa också motståndare till vår verksamhet. Nu när de ser vår framgång vill de ta hand om den. Emellertid är detta ett så stort område som kommer att ytterligare expandera att det bör vara en självständig avdelning. Den bör dock ligga tätt på röntgen. För att kunna tillvarata ultraljudet tillräckligt väl bör det vara en specialdisciplin med speciell utbildning. Detta har inte radiologerna. Man kan inte syssla med ultraljud efter en månads utbildning. Vi måste bygga upp en utbildning lika välordnad som andra. En sådan måste omfatta bl a obstetrik, kirurgi, medicin, kanske röntgen, ett halvt år och vidare fyra års ultraljudsdiagnostisk utbildning. En sådan utbildad person bör vara bättre ägnad att leda ett ultraljudslaboratorium.

Om vi kan upprätthålla linjen i utbildningen av ultraljudsexperten kommer man att märka att skraddarsydda experter blir bättre än kliniska fysiologer eller radiologer att driva verksamheten. Ultraljud kan inte drivas med vänster hand i framtiden. En radiolog i USA, Goldberg i Philadelphia, har kört kurser i ultraljud. Han har talat om planeringen av ultraljudsavdelningar. Dessa skulle höra som en specialklass till röntgen. Under de senaste två-tre åren har man sett ett försök från radiologerna att vilja skrapa in ultraljudet i sin organisation. Emellertid tror jag att ultraljudet efterhand kommer att skilja ut sig som en speciell grupp. Kraven på specialistkunskap kommer efterhand att visa sig. Detta gäller inte nu, men kanske om tio år. Danska radiologer har för övrigt aldrig varit lika hårt hållna som de svenska. Röntgendisciplinen har inte varit lika stark här."

Avdelningen, som koncentrerar sig på bukdiagnostik, hade 1979 en halvtidsarbetande överläkare, tre heltidstjänstgörande läkare, varav en var röntgenläkare, en ultraljudsexpert och en kirurg. Övrig personal bestod av en vetenskaplig assistent, tre sjuksköterskor och 2,5 -3 sekreterartjänster, en elektromekaniker och ett laboratoriebiträde. Avdelningen bestod av tre stora undersökningsrum och ett par ytterligare rum för personalen. Man planerade också för att bygga ut ytterligare en avdelning med tre nya rum.

Detta kan jämföras med att vid samma tid man på röntgenkliniken i Lund för ultraljudsdiagnostik av buken hade ett undersökningsrum och två läkare som på deltid gjorde undersökningarna och en undersköterska som i huvudsak ansvarade för administrativa rutiner.

Särskilda ultraljudsavdelningar har speciellt utvecklats i USA, där i vissa fall all ultraljudsutrustning centererats till en speciell avdelning. I Sverige har däremot ultraljud för bukdiagnostik tagits om hand av röntgen medan i övervägande fall ultraljud för gynekologi, foster- och hjärtdiagnostik sköts inom respektive kliniker, i vissa fall på speciella underavdelningar, t ex vid kvinnokliniken på Malmö Allmänna Sjukhus.

Om hur under 1970-talet en industri växer fram kring medicinskt ultraljud

I takt med de snabba tekniska landvinningarna, inte minst inom mikroelektroniken, och utveckling av viktiga tillämpningsområden växte en industri kring ultraljudets medicinska användning fram. Tidigt uppkom små ultraljudsföretag som hade upprinnelse i de forskargrupper av medicinare och tekniker som forskat kring ultraljudets medicinska tillämpningar. Det japanska företaget **Aloka** startades redan under 1950-talet som en följd av tidigt forskningsarbete i Japan avseende skulldiagnostik. Företaget tog i början av 1960-talet fram en metod där man sänkte ned patienten i en stor cistern och lät en kristall cirkulera runt patientens huvud.

I USA växte **Unirad** fram vid mitten av 1970-talet som ett resultat av en federativ satsning på forskning kring ultraljudet. Bland prioriterade områden fanns signal- och digitalteknik. Unirad köptes sedan av Technicare, Ohio Nuclear, som i sin tur gick upp i konglomeratföretaget Johnson & Johnson.

ADR, Advanced Diagnostic Research, startades av några tekniker som lämnat Unirad. ADR har senare gått upp i Krantz Bühler, som närmast är utvecklare av generell grundutrustning för ultraljud, både för industri och medicinsk användning. Krantz Bühler tillverkade den första realtidsapparaten i världen omkring 1974. ADR lyckades också under en kort period under 70-talet med hjälp av Krantz Bühler som agent sälja ett mycket stort antal ultraljudssystem både i USA och i Europa.

ATL, Advanced Technical Laboratories, som var mycket framgångsrikt under 1979-80, började med ultraljud för marin användning vid mitten av 1970-talet. I slutet av decenniet gick man över till medicinska användningar. Företaget växte mycket snabbt, från cirka 20 personer 1976 till cirka 8-900 personer 1981. ATL startades av några tekniker som lämnade Smith Kline. Den snabba tillväxten gjorde det svårt att driva företaget vidare som fristående. Nytt kapital var nödvändigt och läkemedelsföretaget Squibb Medical köpte 1981 ATL.

För övrigt har ett flertal läkemedelstillverkare köpt upp ultraljudsföretag, t ex det amerikanska Smith Kline, det schweiziska Hoffman la Roche, det holländska Organon och ovan nämnda Squibb Medical.

Organon var ett av de ledande företagen för några år sedan. Man utvecklade 1974-75 det första realtidssystemet för hjärtundersökning. Det grundläggande forskningsarbetet hade gjorts av två holländska forskare, en av dem var Klaus Boom. Organon lyckades emellertid inte få systemet i produktion förrän frammot 1977. Det lyckades inte att föra tekniken till en kommersiell framgång. Det var svårt att skapa en effektiv produktion och hela ultraljudsverksamheten inom Organon sattes under diskussion hösten 1981. Det har visat sig mycket dyrt att bygga upp en serviceorganisation i den nu mycket snabbt växande branschen.

Organon som tillhör den holländska koncernen Akzo, har sitt huvudområde inom läkemedel. Man har varit framgångsrik inom hormonforskning och utvecklat p-piller. Man har också utvecklat ett speciellt muskelavslappnande medel som gett stor framgång. Detta medel gav Organon goda inkomster och 1972 bildades dotterföretaget Organon Technica, med en kapitalbas på 100 miljoner floriner. Snabbt etablerade man sig i 19 länder. Goda inkomster ledde till tanken om att diversifiera mot ultraljud och tillverkning av konstgjorda njurar.

Organon fick på så sätt snabbt ett flertal affärsområden på tillväxt och man hade inte vare sig personella eller ekonomiska resurser att utveckla alla. Det gick inte att exploatera ultraljudet under den mycket snabba tillväxtperioden mot slutet av 1970-talet.

Hewlett Packard är ett ytterligare elektrotekniskt företag som utvecklat ultraljud. Företaget tillverkade redan under 1960-talet A- och B-scanmetoder för att studera hjärnans ventriklar. Nyligen har man lanserat en phase-array realtids-scanner med 64 kristaller. Hewlett Packards dominerande områden hänförs till mätinstrument, datorer, kalkylatorer och medicinsk-tekniska instrument, bl a datorsystem för patientövervakning. Cirka 10% av den totala omsättningen på cirka 3,1 miljarder dollar 1980 hänförs till den medicinska sektorn. Under 1980 lanserades en realtidsapparat med tillämpning både för buk- och hjärtdiagnostik.

Brüel & Kjaer är en annan tillverkare av elektroniska mätinstrument som utvecklat en egen ultraljudsenhet. Man köpte 1976 den ultraljudsapparat som utvecklats av bl a urologen Hans-Henrik Holm vid Herlev sjukhus. Huvudverksamheten inom Brüel & Kjaer är annars tillverkning av mätinstrument av precisionskaraktär. Instrumenten används främst inom områdena akustik och vibrationsmätningar, men i takt med teknisk utveckling har man funnit fler och fler applikationsområden. Ett av dessa är medicinsk diagnostik.

I linje med de tidiga utvecklingsansträngningarna satsar Brüel & Kjaer tillsammans med Holm på ultraljud för bukdiagnostik, primärt för urologiska undersökningar. Man har utvecklat ett realtidssystem där man kan gå in med en ultraljudsprobe i urinröret och via detta föra upp den till urinblåsan. Man kan på så sätt få en bild av eventuella tumörer och framför allt avgöra om tumören skadat urinblåsans väggar, en faktor som det tidigare inte gått att få en bild av. Man kommer också att kunna diagnostisera prostatabesvär hos äldre män med realtidsapparaten. Man utvecklar också system där man tar hjälp av ultraljudet

vid vävnadsprovtagning, biopsi. Ultraljudsstrålen, som visas på bildskärmen, vägleder hur vävnadsprovet skall tas. Man har automatisk avståndsmätning och kan med hjälp av rörliga elektroniska ljusprickar få en exakt bild av tumörers storlek och avstånd till olika organ.

Röntgenföretagen är en viktig och ledande grupp företag, som mot slutet av 1970-talet blivit allt mer synliga inom ultraljudsområdet. Efter att ultraljud blivit ett verksamt instrument för bukdiagnostik har de stora röntgenföretagen satsat på egen produktion. Ett vanligt sätt för etablering har varit uppköp av fristående ultraljudsföretag eller köp av tekniken. Picker köpte redan under 1960-talet tekniken från forskargruppen kring Howry och Holmes.

Siemens, som under hela 1950- och 60-talen latent hade ultraljud på programmet, men drev det på sparlåga, var länge licenstagare för Kretz Teknik och Aloka. Mot slutet av 1970-talet utvecklades egna system och dessutom köptes Searle's ultraljudsteknologi.

Det österrikiska ultraljudsföretaget **Kretz Teknik** bildades efter en sammanslagning av ett par äldre österrikiska företag. Ett av dem, Lefelt, tillverkade ultraljud för materialundersökningar redan under 1940-talet. Genom den österrikiske läkaren Dussick, som börjat använda ultraljud vid skallundersökningar, fick företaget kontakt med den medicinska applikationen. Familjen Kretz som bl a ägde bryggerier, satsade kapital i en uppbyggnad av Kretz Teknik, som utvecklade ultraljud för medicinen och som kom att bli företagets dominerande verksamhetsområde.

Philips har också börjat bli aktivt under andra hälften av 1970-talet. Det svenska dotterbolaget startade 1968 som agent för Kretz Teknik. Agenturen avsåg till en början utrustning för studium av hjärnans mittstruktur, ekoencefalografi. Företaget sålde som agent i Sverige cirka 40-50 enkla A-mode apparater. Siemens var samtidigt agent för Kraut-Krämer för motsvarande utrustning. Den egna utvecklingen inom Philips tog fart först omkring 1977, efter det att bukdiagnostiken blivit ett viktigt tillämpningsområde. För att möjliggöra en snabb etablering köpte Philips det amerikanska företaget Rohé Scientific, som arbetade som agent för Kretz-Technik i USA. Rohé utvecklade emellertid också egna produkter, till slut hela system. I samband med Philips' köp bröts Rohé's förbindelse med Kretz Teknik. Philips började, bl a tillsammans med Kraut-Krämer, utveckla Rohé's system. Rohé ingår i Philips-koncernens amerikanska bolag, North American Philips, och marknadsför produkterna under Rohénamnet, medan de i Europa säljs med Philipsnamnet.

I Sverige har däremot ingen industri utvecklats kring diagnostiskt ultraljud. Samtidigt som industrin utvecklades i USA lades de embryon till ultraljudsproduktion som fanns i Sverige ned. Under 1960-talet utvecklade ett företag, LKB-produkter, tillsammans med professorn i neurokirurgi i Stockholm, Lecksell, en apparat men den fick ingen framgång och tillverkades endast i några enstaka exemplar. Hertz fortsatte samtidigt sitt utvecklingsarbete och försökte bl a få stöd från Styrelsen för Teknisk Utveckling (STU), som övertagit Forskningsrådets verksamhet. STU bedömde emellertid att ultraljudet inte skulle komma att spela någon större roll inom medicinen och ville därför inte satsa pengar på vidare forskning i Sverige. Med brist på pengar lades den tekniska utvecklingen ned.

Marknadssituationen

Marknaden bestod 1976 av cirka 35 ultraljudsföretag. De fördelades på 20 i USA, ett i Västtyskland, tre i Japan, tre i England, fyra i Frankrike, ett i Österrike, två i Nederländerna, ett i Schweiz och ett i Danmark.

1975 beräknades att världsmarknaden för elektromedicinsk utrustning (här ingår inte röntgenutrustning) utgjordes till 10% av ultraljud. Fram till 1980 prognostiserades att andelen för ultraljud skulle växa till cirka 20%. Den totala världsmarknaden för det elektromedicinska området 1980 beräknades till totalt cirka 2,6 miljarder kr.

I Sverige såldes 1980 ultraljud för 16 miljoner kr, vilket gör cirka 50 ultraljudsapparater. Häri inräknas inte enkla A-system för ekoencefalografi utan enbart compound och framför allt realtidssystem.

En viktig förändring i marknadsbilden är att mindre sjukhus nu efterfrågar ultraljud, i Sverige t ex lasarett i Västerås, Mora och Hudiksvall. Realtidstekniken har också nästan helt slagit ut compoundtekniken. Konkurrensen står idag mellan realtidsteknik av sektor eller linjär typ. I allmänhet föredras sektorssystem för undersökning av hjärtat, då det behövs en spetsig probe för att komma mellan revbenen med ultraljudsstrålen. För buken och obstetrik kan däremot med fördel linjär teknik användas, vilket ger ett bredare undersökningsområde.

I tabell 1 visas världsmarknadens tillväxt uttryckt i tyska mark.

I tabell 2 har världsmarknaden 1977 respektive 1981 delats upp på några olika regioner och länder.

	Milj
1973	95'
1974	115'
1975	200'
1976	265'
1977	370'
1978	600'
1979	790'
1980	940'
1981	1.340'

Tabell 1. Världsmarknaden för ultraljud 1973-1981, miljoner (DM). Källa: Siemens Aktiengesellschaft, Erlangen.

	Milj 1977	Milj 1981	Uppskattad real tillväxt per år fram till 1986
Västtyskland	40'	160'	+ 8 %
Övriga Europa	70'	230'	+ 8 %
Europa totalt	110'	390'	+ 8 %
USA	170'	550'	+ 6 %
Japan	50'	200'	+ 7 %
Övriga världen	40'	200'	+ 7 %
Totalt	370'	1.340'	+ 7 %

Tabell 2. Världsmarknaden för ultraljud 1977 och 1981 fördelad på några regioner (DM). Källa: Siemens Aktiengesellschaft, Erlangen.

DEL IV. DATORTOMOGRAFINS DIAGNOSTISKA BIDRAG OCH EFFEKTER FÖR PATIENT OCH RÖNTGENORGANISATION

Efter att ha behandlat datortomografins och ultraljudets utvecklingsprocesser skall vi i del IV gå över till att fördjupa bilden av datortomografins diagnostiska bidrag och de förändringar som den medfört för röntgenorganisation och patient.

I en sådan beskrivning finns förutsättningar att bättre förstå ledande värderingar inom röntgenprofessionen, som en viktig bakgrund till att förstå datortomografins kraftfulla genombrott i röntgenprofessionen.

I kapitel 17 behandlas de medicinsk-diagnostiska bidragen, i kapitel 18 och 19 röntgenläkar-respektive röntgenassistentrollen och några förändringar som datortomografen medfört. I det avslutande kapitel 20 diskuteras några effekter för patienten av datortomografins införande.

17. DATORTOMOGRAFINS BIDRAG

Inledning

Ett viktigt syfte med föreliggande studie har varit att undersöka vilka bidrag som datortomografin givit. I detta kapitel skall vi närmare studera och analysera dessa bidrag för att underlätta en djupare förståelse av bakgrunden till datortomografins kraftfulla genomslag inom röntgenprofessionen och snabba internationella spridning.

Det finns internationellt ett stort antal studier av datortomografin som inriktats mot en ekonomisk/diagnostisk utvärdering. (1) Syftet har varit att undersöka om datortomografin ersatt några andra metoder eller på annat sätt förbilligat diagnosarbetet, eller om den kanske snarare fördyrat sjukvården.

Samtliga studier visar på att datortomografin för skallen har ersatt luftskalle- och angiografiundersökningar i betydande grad. Uppgifterna varierar från sjukhus till sjukhus. En minskning av luftskallar med ca 80-90% och angiografier med ca 40-50% var relativt vanliga erfarenheter vid mitten av 1970-talet (SPRI 8/76).

Man räknade med att en datortomografiundersökning för skallen kostade ca 375 kronor i 1976 års pris- och lönenivå. Detta skall jämföras med luftskalle och angiografi som beräknades kosta ca 3.500 respektive 2.300 kronor inklusive vårdkostnad i samband med undersökningen. Till skillnad från vid datortomografin kan inte luftskalle och angiografi utföras ambulant. I ett flertal arbeten skisserade man på tänkbara besparingar i samband med att en billigare metod ersätter de tidigare mycket dyrare. Ett exempel visade att om luftskallar och angiografier reducerades med 80 respektive 50% och ersattes med datortomografi skulle man i Sverige spara ca 16 miljoner kronor (SPRI 9/76). En studie över utvecklingen i USA visade på en reduktion av kostnaderna med 5% för neuroradiologisk verksamhet (Gempel, Harries, Evens 1977).

För kroppstomografin däremot iakttog man inte samma påtagliga minskning av andra undersökningar. Resultatet blev istället en kostnadsökning på ca 5% i USA i jämförelse med om datortomografin inte funnits. Däremot prognostiserades en minskning av andra metoder fram till 1980, då man bedömde att forskningsarbete skulle ha fått fram säkrare underlag för inom vilka områden olika metoder skulle användas. Kostnaderna per datortomografisk undersökning för kroppen beräknades i 1976 års prisnivå till mellan 600 och 900 kronor beroende på avskrivningstiden.

Efterfrågeprofil

I detta kapitel skall vi inte utvärdera datortomografin ur något ekonomiskt perspektiv. Istället har vi tagit utgångspunkt i "efterfrågan" från de kliniska användarna inom Lunds lasarett. Intervjuer med läkare inom respektive kliniker har sammanställts till en "efterfrågeprofil", där de ledande frågeställningarna varit:

- o antal patienter som undersöks
- o dominerande frågeställningar

- o tidigare undersökningar för motsvarande frågor
- o diagnostiska bidrag
- o framtida önskemål

Sammanställningen gör inte anspråk på att vara heltäckande avseende de kliniker som utnyttjar datortomografin eller för hela läkarkåren inom respektive klinik och långt mindre för röntgenläkare generellt. Den täcker in de absolut viktigaste klinikerna vid sjukhuset respektive frågeställningarna.

I ett efterföljande avsnitt ligger sammanställningen till grund för en något bredare analys av datortomografins bidrag. Vårt syfte är naturligtvis inte att göra någon medicinsk bedömning av tekniken, utan enbart att se i vilka dimensioner som den givit bidrag. Utgångspunkten för vår analys är sålunda klinikernas egna erfarenheter. De återgivna uppfattningarna utgör bedömningar från i vissa fall några läkare, som i intervjuform gett sina synpunkter, och i andra fall har ett enkelt formulär cirkulerat till läkarna. Vi menar att läkarnas subjektiva uppfattningar om datortomografin är av betydelse, då de till betydande del styr användningen av den. Beskrivningen avspeglar situationen 1980/81.

Datortomografi för skallen

För neurokirurgiska och neurologiska kliniker är datortomografin ett ovärderligt diagnosinstrument. För de flesta skullsjukdomar får man snabbt, enkelt och i huvudsak ofarligt fram en diagnos. Det gäller för en mångfald tumörer. Det gäller i mindre omfattning för blodkärllssjukdomar, även om datortomografin också här ger värdefull information. Metoden är till ovärderlig hjälp vid skullskador. Vid t ex akuta blödningar i hjärnan kan man undvika att som tidigare borra upp skallen och istället få information på kanske tio minuter. En kvalitativt bättre information ges. Med datortomografi kan man skilja mellan hjärninfarkt och hjärnblödning. Innan datortomografin hade man oftast svårt att skilja dessa bägge sjukdomar åt. Att ta fel på de båda diagnoserna är behäftat med vissa risker. Man behandlar infarkten med blodförtunnande medel, vilket naturligtvis är en direkt felaktig metod om det är en blödning. Det hände förr att man gjorde sådana felbehandlingar, som man inte upptäckte.

För diagnostisering av hjärntumörer är datortomografin överlägsen. Den kan fastställa storleken på en tumör, till viss del dess lokalisation och karaktär. Förr fick man använda sig av luftskalle och kärlundersökning. Dessa båda metoder användes till stor del i screeningsyfte. Nu fastställer datortomografin diagnosen i många fall och därmed undvikes att gå vidare med kärlundersökning. Man har på så sätt fått ett färre antal av dessa undersökningar, som sjunkit i antal med 80-90 respektive 50-60%. Datortomografin har visat sig ha vissa svagheter vid diagnostisering av de bakre skalldelarna och när det gäller eventuella tumörer nära hypofysen. Idag använder man luftskallemetoden i stor utsträckning endast vid misstanke om sådan hypofystumör. De är dock ovanliga.

En datortomografisk bild avslöjar hjärnans hålrum, ventriklarna. Vid tumör eller blödning kan detta hålrum bli blockerat eller blod tränga in. Dessa förändringar kan ses med hjälp av datortomografi. Tidigare fick luftskalle följt av kärlundersökning användas. Informationen var sämre och dessutom fick man vänta några dagar med insättande av behandling.

Ytterligare sjukdomstillstånd, som undersöks med datortomografi, är trauma och vidgning av hjärnan p g a ökat tryck. Med datortomografi kan de fall där trycket beror på demenstillstånd sållas ut. I vissa fall beror demensfall på något slags tumör, som i vissa fall är operabel. I andra fall sammanfaller demenssymptomen med ålderdom eller ärftliga faktorer och är då oftast inte behandlingsbara. Datortomografin fyller en viktig roll i att urskilja de former av demens, där man framgångsrikt kan sätta in behandling. Tidigare var man tvungen att undersöka med luftskalle.

En annan stor grupp inom neurologin är olika epilepsifall, en sjukdomsgrupp som ger upphov till många rubbningar av hjärnans funktion. I vissa fall beror epilepsin på en bakomliggande tumör och det finns då möjligheter att operera bort den. I andra fall finns inte några behandlingsmöjligheter. Med datortomografi kan man få en mera exakt diagnos av de fall som sammanhänger med tumörer. Även vid hjärninflammation fyller datortomografin ett diagnostiskt syfte. Dessa förändringar är ovanliga, men behandlingsbara och därför viktiga att kunna diagnostisera. Innan datortomografin fick man ta till luftskalleundersökningar.

Datortomografi vid diagnostik av barn

En grundinställning hos barnläkare var att datortomografin kom att ge väsentliga bidrag, när den väl integrerats med och utvärderats i förhållande till andra diagnostekniker. Till en början har det handlat om en utvärdering av metoden och därmed har ofta samma patienter undersökts parallellt med olika metoder.

Den största nyttan är även här diagnostik av tumörer, d v s svulster av olika slag. Med datortomografi får man uppfattning om hur tumören är belägen i förhållande till andra organ och om storlek.

Ett andra användningsområde är för att följa tumörers utveckling, framför allt vid fall där det varit omöjligt att ta bort tumören. Detta sker ofta i samband med cellgifts- eller strålbehandling. Innan datortomografin fanns fick man göra uppföljningsarbetet med hjälp av kärlundersökning. Genom att datortomografin inte är riskfylld och smärtsam kan man arbeta med tätare uppföljningar.

Cancersjukdomar hos barn är av annan karaktär än hos vuxna. Hos vuxna bildas tumörer i form av cancer i håligheter och genom att canceren klär ut insidan på vissa solida organ, såsom lever och bukspottskörtel. Hos barn är det huvudsakligen frågan om bindvävstumörer. Dessa har ingen öppning utåt och finns inte inne i solida organ. De flesta tumörer hos barn ger inga andra symptom än att man upptäcker själva knutan efter den. På så sätt kan de vara stora, när de diagnostiseras.

Några effekter av datortomografin i form av tidigare upptäckt av moder-tumörer har man inte sett, däremot upptäcker man i vissa fall dottertumörer tidigare.

Vid skallundersökningar har man också undersökt mentalt retarderade patienter, barn som blivit skadade vid förlossning, förekomst av eventuella blödningar, vattenskalle samt epileptiska fall.

Vid undersökning av barn spelar röntgenstrålningen och kontrastrisken en relativt större roll som en begränsande faktor. Det är också tekniskt svårare att genomföra invasiva undersökningar, såsom kärlröntgen på barn, då deras kärl är

mindre och mera känsliga för skador. Datortomografin och ultraljudet har här kommit in som två nya och mycket värdefulla tekniker. Genom att datortomografin är i huvudsak riskfri, kan man arbeta med vidgade indikationer vid undersökning, inte minst vid skallen. Exempelvis undersökte man sällan mentalt retarderade patienter med luftskalle eller kärlröntgen. Nu kan man med datortomografi studera dessa fall, ofta ett flertal gånger.

Datortomografi vid lungdiagnostik

Vid misstanke om elakartade tumörer i lungorna gäller det att handla snabbt. Man bedömer att endast cirka 6 av 100 patienter lever längre än fem år efter en operation. Det är viktigt att förkorta undersökningstiden. Därmed är det ett problem att datortomografin utgör en trång sektor, med i vissa fall hård prioritering mellan olika kliniker och fall. Väntetider uppstår, vilket gör att man många gånger får gå vidare med cellgiftsbehandling och utredning av eventuella dottertumörer i lever och skalle utan hjälp av datortomografi.

Vid undersökning av skador från asbest visar sig datortomografin också ha betydelse. Datortomografin kan i jämförelse med andra metoder bättre avslöja eventuella angripna körtlar, t ex bakom något organ. Vidare kan man använda datortomografin till att relatera utfallet till insatt behandling. Man bedömer också att datortomografin är effektiv vid diagnostik av cancer i lungsäcken. En annan form av användning av datortomografin är vid mätning av tätheten i lungan. Denna har man tidigare försökt få en uppfattning om genom vanliga röntgenbilder. Emellertid har det varit svårt och ofta har man enbart fått en kvalitativ bedömning att gå efter. Stor risk föreligger att man bedömer verkliga förändringar som enbart olika kvalitet i bilderna. Genom datortomografin kan man få en bättre och kvantitativ uppfattning av tätheten i lungan.

Man använder också datortomografin för att studera eventuella dottertumörer i levern, som har ursprung i en modertumör i lungområdet, eftersom denna form av dottertumörutbredning är mycket vanlig. Samtidigt är de tidigare använda metoderna isotopteknik och kärlundersökning klart otillfredsställande för dessa fall.

Datortomografins främsta bidrag är även här att den ger bättre information om avgränsningen mellan olika vävnader. Emellertid har detta ingen avgörande betydelse för diagnosställandet. Klinikern vill framför allt veta om det är en elakartad eller godartad tumör och om det är en moder- eller dottertumör, vilket inte datortomografin kan avgöra.

Något behov att undersöka andra lungåkommor än tumörformer med datortomografi har man inte haft. De diagnosmedel som används vid diagnostik av lungorna bedöms som ändamålsenliga. Vanlig slätröntgen ger mycket fin information, samma sak gäller bronkoskopi och finnålsbiopsi. Vid den senare metoden tar man med en fin nål ut lite vätska från lungan. Man kan sedan med olika cellprover direkt avgöra om det är frågan om cancerösa vävnader eller inte. Detta svar är inte behäftat med osäkerhet.

Datortomografi vid urologisk diagnostik

Datortomografin används inom detta område vid diagnostik av blåstumörer och ett slags tumörer som kallas testistumörer, som har en tendens att ofta bilda dottertumörer. Vid dessa fall bedöms datortomografin ge överlägsen infor-

mation. Den kan till viss del avgöra tätheten mellan olika strukturer, exempelvis skilja fettskikt från andra vävnadstyper, vilket man inte kan med ultraljud.

I inledningsskedet har det mycket handlat om att lära sig att använda den nya tekniken. Därför undersöker man ofta i form av serier, där man jämför datortomografi med andra metoder. T ex har man i en studie jämfört dator-tomografin från njurar och kärlundersökning. Detta görs således på samma patient.

Datortomografin har visat sig vara förnämlig, när det gäller undersökning av solida organ. Man kan se olika organgränser, vilket inte är möjligt med konventionella utredningsmetoder. Man har konstaterat att antalet kärlundersökningar av njurar har gått ner betydligt, sedan datortomografin och också ultraljudet börjat användas. Man kan dock inte helt slopa kärlundersökningar, många av dem göres för kirurgernas preoperativa behov. De har behov av att se kärlens läge innan de opererar. Man kan inte heller utesluta förekomsten av tumörer även om datortomografin visar på negativt fynd. För säkerställande av diagnos måste man ta hjälp av kärlundersökning. Metoderna blir på så sätt i många fall komplement till varandra. Däremot, om man finner positivt fynd med hjälp av datortomografi och ultraljud och kombinerar dessa med biopsi, kan man i många fall undvika att göra kärlundersökning. Ett exempel är vid dottersvulster i levern, en cancerform där det inte finns någon framgångsrik behandling.

Datortomografi för bukdiagnostik

Inom bukdiagnostik har datortomografin visat sig vara ett värdefullt diagnos-instrument. Bukkirurger svarar för cirka 20-30% av antalet undersökta patienter med kroppsdatortomografi vid Lunds lasarett.

Liksom inom andra områden är de främsta frågeställningarna tumörers förekomst och utbredning. Med datortomografi utreds också olika slags varbildningar och vissa sällsynta, men elakartade tumörer i stödjevävnad och fett (sarkom). Tidigare fick dessa frågeställningar främst utredas med kärlundersökning.

Datortomografin har i många fall visat sig vara avgörande för behandling av tumörer i vänster leverlob. Med hjälp av datortomografi kan man avgöra om kirurgisk eller medicinsk behandling skall sättas in. Vid cellgiftsbehandling finns möjligheter att påvisa tumörernas tillväxt, vilket medför att behandlingen kan avbrytas eller ändras. Man får med datortomografi fortare en korrekt diagnos.

Det största problemet är den begränsande resurs som datortomografin utgör. Det finns ett behov på uppåt det dubbla antalet undersökningar.

Datortomografi vid ortopedisk diagnostik

Inom ortopedi är det en relativt liten patientgrupp som undersöks med dator-tomografi. I huvudsak avser användningen tre olika frågeställningar: mjukdelstumörer i bäcken, rygg, extremiteter etc; vissa skelettumörer i samma områden och utredning av svåranalyserade bäckenfrakturer.

För utredning av mjukdelstumörer har man tidigare, förutom vanlig slätröntgen, använt sig av kärlundersökning.

Även vid vissa tumörer i skelettdelarna ger datortomografin värdefulla bidrag. Man får en bättre uppfattning om tumörens storlek, form, position och dess täthet. Informationen gör det möjligt att planera operativa ingrepp på ett bättre sätt. Man undviker i vissa fall mer omfattande ingrepp än som kanske var nödvändigt, p g a tidigare dålig information. Med datortomografin kan man t ex mera exakt se tumörens utbredning och att den i många fall inte går så djupt som man kanske misstänkt innan datortomografiundersökningen. Man vågar då på grundval av datortomografi göra mindre ingrepp än man annars varit tvungen till, t ex undvika amputation.

Någon reduktion av antalet kärlundersökningar har däremot inte erhållits. Man tror inte heller att detta kommer att bli fallet, då metoderna ger olika upplysningar.

Vid utredning av svåra bäckenfrakturer kan datortomografin ge information om frakturen behöver opereras eller om självläkning är möjlig.

För framtiden hoppas man från ortopedhåll att datortomografibilderna skall kunna presenteras i större storlek för att ge möjligheter att samtidigt diskuteras av en större grupp människor. Vidare hoppas man på att upplösningen i bilden skall bli bättre, vilket skulle ge mer detaljinformation. Ett tredje önskemål är att utvecklingen skall ge möjlighet till att placera patienten symmetriskt. Man vet idag ofta inte om skillnader mellan kroppssidorna sammanhänger med någon förskjutning i patientens placering eller om det är sjukliga förändringar.

Datortomografi vid strålbehandling

Vid onkologisk klinik sysslar man med behandling av cancer med strålar och cytostatika (cellgifter). Tillkomsten av särskilda kliniker för strålbehandling av cancer är gammal.

Vid strålbehandling av cancerpatienter är det viktigt att först noggrant lokalisera tumörens läge. Dessutom är det väsentligt att fastställa vilket slags tumör det är och dess spridning. Därefter gäller det att bedöma stråldosens styrka.

Datortomografin har gett starkt ökade möjligheter att bedöma vad slags tumör det är frågan om och mera exakt beräkna dess läge. Innan datortomografins tillkomst fick man använda sig av vanliga röntgenbilder, då man skulle rita upp ett snitt genom kroppen på patienten, genom vilken strålen skulle skickas. Detta var emellertid svårt, då man inte hade en tillräckligt god uppfattning om hur cancertumören var placerad. Många gånger kunde tumören gömma sig bakom ett organ och på så sätt inte vara synlig.

Med hjälp av datortomografi kan man beräkna ett snitt med en mycket högre precision. Detta ger möjligheter till att inrikta strålningen mera effektivt och undvika skador på omgivande vävnader och organ. Vid strålbehandlingen, som ofta fördelas på uppåt 30-40 gånger, är det viktigt att patienten ligger likadant vid alla behandlingarna. För att strålen skall träffa exakt, måste man på ett mycket noggrant sätt placera patienten i förhållande till strålkällan. För detta syfte använder man sig av datortomografi vid planeringen av behandlingen.

För planering av stråldoser är täthetsfördelningen mellan olika vävnader av stor betydelse. Även om datortomografin ger vissa möjligheter till kvantitativa mått

på täthetsskillnader, är dessa inte tillräckligt exakta för onkologiskt syfte. Nu får man medelvärden på tätheter i vävnader, som i sig kan innehålla stora och väsentliga skillnader. Man har förhoppningar om en vidareutveckling av dator-tomografin på så sätt att den skall ge möjligheter till att mäta elektrontäthet och kanske atomnummer i de studerade vävnaderna.

Datortomografins bidrag - försök till analys

I föreliggande avsnitt skall vi analysera i vilka dimensioner som datortomografins bidrag kan beskrivas. (2)

Vid en genomgång av de olika klinikernas användning av datortomografi är det uppenbart att metoden har fått ett mycket gott mottagande. Den har ur ett flertal aspekter gett de kliniska läkarna bidrag vid diagnosställandet.

Markant är att datortomografin i många fall ger **snabbare** information på ett enklare och mindre riskfyllt sätt än de invasiva teknikerna. Detta gäller främst för neuroradiologiska fall, där datortomografin ersätter tidigare tidskrävande och besvärliga undersökningar. Det gäller i mindre grad i de fall där datortomografin enbart används för att stödja/säkra en redan uppnådd diagnos.

Teknikens snabbhet har i vissa fall fått även behandlingsmässiga konsekvenser. Vid akuta skallskador är snabb diagnos avgörande. Datortomografin ger uppenbarligen sådan information att man i vissa fall undviker onödiga operativa ingrepp. Inom neurologisk verksamhet är det på samma sätt viktigt att få snabb information vid vissa former av demenstillstånd.

Även inom lungmedicin, thoraxkirurgi och urologi har man stort behov av en snabb diagnosprocess. Datortomografin får i vissa fall "hoppas över" därför att den utgör en trång resurs, som man inte tillräckligt snabbt får tillgång till.

Det är således endast inom några enskilda områden, som teknikens potential för att ge snabbare information kunnat utnyttjas. Detta förutsätter att man kan ersätta andra undersökningar, vilket endast i begränsad omfattning varit fallet för kroppen.

Det klart viktigaste diagnostiska bidraget är datortomografins möjligheter att ge **mera exakt** information om olika tumörsjukdomar. Teknikens förmåga att skilja ut mycket små tätheter, att bättre lokalisera tumörers förekomst har gett läkarna information som gör det möjligt att säkrare ställa diagnos och också säkrare kunna planera behandlingsåtgärder. Inom ortopedi kan man t ex bättre avgöra behandling av olika frakturer och mjukdelstumörer.

Inför eventuell operation vet ofta klinikern mer om tumörens utbredning och kan också bättre avgöra hur en operation skall genomföras. I vissa fall, t ex inom neurokirurgi, kan man avgöra vad slags tumör det är frågan om och möjligheten att framgångsrikt operera eller behandla på annat sätt.

Inom skullsidan har man genom datortomografins fina information, som i många fall inte kunde erhållas tidigare, kunnat ersätta flertalet luftskalle- och många angiografiundersökningar. De som ändå måste utföras görs nu på klart mera riktade indikationer och används inte längre som screeningmetoder. De har således "flyttats fram" i diagnoskedjan.

Det finns exempel på en vidgad användning av datortomografin p g a att den är relativt risk- och smärtfri för patienten. Inom flertalet kliniker arbetar man med forskning kring datortomografins möjligheter. Inom neurologi inom t ex epilepsi- och demensfall. Det är således inte bara frågan om att ersätta äldre metoder utan det har snabbt utbildats vidgade indikationer, vilka möjliggörs genom teknikens "humana" karaktär. En ny "luftskalle- eller angiografimetod" skulle sannolikt inte så snabbt spridits till olika användningsområden, även om den medicinskt/diagnostiskt hade varit lika framgångsrik som datortomografin.

Totalt sett har datortomografin dragit till sig ett så stort intresse att den blivit en trång sektor. Klinikerna kan inte få undersökt så många patienter eller frågeställningar som man vill. För att utvärdera tekniken krävs det långa serier och att man kan korrelera dem med andra undersökningar.

Däremot har datortomografin totalt sett i liten omfattning kunnat ersätta några andra metoder. Det markanta undantaget är som tidigare sagts luftskalle och angiografi som reducerats betydligt. För övrigt finns några exempel, där datortomografin medverkat till sänkning av andra undersökningar, såsom för angiografi av njurarna. Uppenbarligen utgör njurarna ett organ där datortomografin ger sådan god information att ytterligare diagnos i många fall kan undvikas.

Ett område som tydligt har kunnat utnyttja datortomografins mera exakta information är onkologi. Man var redan vid starten av helkroppstomografin medveten om dess betydelse för strålbehandling. Här är kanske just noggrann lokalisering och bestämning av tumörer mest betydelsefullt. I dessa dimensioner ger datortomografin mycket viktiga bidrag, genom att man kan se djupläget för tumörer och beräkna snitt för strålbehandling mera exakt. Inom onkologi vet man också exakt i vilka dimensioner man vill använda datortomografin och har väl definierade framtida önskemål. Tekniskt ligger man så långt framme att nuvarande datortomografiteknik inte räcker till. Det finns från onkologiskt håll krav på ytterligare förfining och specialisering av tekniken.

För flertalet andra kliniker har datortomografin gett diagnostiska bidrag, som ökat säkerheten i diagnosen, men inte på något avgörande sätt förändrat utredningsgången. Man arbetar i betydande grad fortfarande med andra metoder. I många fall framkommer en besvikelse över att datortomografin inte kan exakt avgöra vilka sorts tumörer det är frågan om (se t ex thorax) och att man inte kan få exakta mätvärden på täthetsskillnader. Det senare hade varit en avsevärd fördel inom onkologisk verksamhet. Andra önskemål går ut på en än bättre bild, att mera exakt kunna placera patienten, etc. Det är således ytterligare bidrag i linje med datortomografins möjligheter som man önskar.

Inom neurokirurgi, neurologi och onkologi har man kommit fram till klara indikationer på datortomografins användning och har också mera riktade önskemål för framtiden. Inom ortopedi har man också klart kunnat definiera inom vilka områden som man erhåller bidrag, men samtidigt insett att tekniken inte kommer att fylla någon avgörande roll inom specialiteten. Andra kliniska discipliner befinner sig fortfarande i en utprovningsfas och är därmed klart mera ofokuserade i sina bedömningar av datortomografins bidrag och angående framtida önskemål. Här har man inte heller sett några markanta förändringar i utredningsgången.

Det är uppenbart att datortomografi är exempel på en diagnosteknik som i stor utsträckning uppfyller de kriterier som utlovades i ett begynnelsekede, åtminstone vad gäller dess rent medicinsk-diagnostiska möjligheter.

Det fanns å andra sidan, eller i varje fall utvecklades mycket snabbt, förväntningar som tekniken inte ännu har kunnat uppfylla. I många fall tycks det också vara frågeställningar av dessa slag som upptar viss efterfrågan, t ex utredningar av mentalt retarderade patienter. Datortomografin som ett framgångsrikt instrument för tumördiagnostik har fött tankar om att även vilja använda den för utredning av ett flertal andra sjukdomsbilder. Därmed ökar också trycket på den. Ett intressant fenomen är således att tekniken skapar ökade förväntningar p g a sin goda förmåga inom vissa områden. Därmed sprids efterfrågan snabbare, vilket underlättas av att det är en human teknik med begränsade risker. Efterfrågan går från centrum av teknikens diagnostiska möjligheter till periferin, där den riskerar att enbart fungera som ett störande moment och skapa köer.

En vidgad syn på datortomografins bidrag

Genomgången av den kliniska användningen av datortomografin visar på att det är en teknik som väl fyller sin diagnostiska funktion. Så gott som samtliga användare är mycket nöjda med de bidrag som getts och missnöjet handlar snarare om ytterligare information som man önskat. Samtidigt är det uppenbart att den används inom discipliner som tillhör den medicinsk-tekniska eliten, d v s där man är relativt framgångsrik i att behandla sjukdomarna. Dessa kan jämföras med discipliner som psykiatri, långvård, reumatologi och till viss del medicin, där rent medicinsk-tekniska åtgärder i mycket stor omfattning måste kompletteras med sociala och psykologiska aspekter. Från dessa senare discipliner har det också i ytterst liten utsträckning uppkommit någon efterfrågan på datortomografin. Tekniken hör till den medicinsk-tekniska eliten och dess bidrag i form av säkrare och mer detaljerad information passar väl in i åtgärder av rent medicinsk karaktär.

För att erhålla en något bredare syn på datortomografin, och åsikter om på vilket sätt och utifrån vilka aspekter man skall värdera datortomografin, har vi diskuterat med ett antal representanter för vad vi kallar "icke-användare" av datortomografi, d v s företrädare för kliniska discipliner som i stort sett inte utnyttjar datortomografin. (3)

Den dominerande bilden är att även "icke-användare" har en grundläggande positiv inställning till datortomografin. Vi har under vår studie inte träffat på någon person som varit direkt negativ till datortomografin, därmed inte sagt att vi inte stött på kritiska synpunkter.

En ofta återkommande åsikt är att tekniken är bra därför att den lyckats ersätta besvärliga undersökningar, som dessutom är mycket dyrare. Man tänker då i huvudsak på datortomografins betydelse för neuroradiologin. Över huvud taget är det denna aspekt av datortomografin man hört talas om och som utgör underlag för de flesta bedömningarna. Kroppstomografin vet man väldigt lite om.

Ett genomgående drag i värderingen av datortomografin är att den måste ses utifrån ett patientperspektiv. Här menar man inte bara att en ny teknik ska ha diagnostisk effekt, utan den måste också ha behandlingsmässiga konsekvenser, som leder till friskare patienter, längre överlevnad, etc.

Samtidigt menar man att värdet av en ny teknik måste relateras till nyttan ur ett större hälsoperspektiv. D v s man får beakta hur många människor som har nytta av datortomografi, i hur många fall som tekniken kan hjälpa till att rädda en patient med t ex lever- eller njurcancer. Ett dilemma är att det inte finns några mål för sjukvården som en ny teknik kan relateras gentemot. Därmed blir det teknikens efterfrågare som själva sätter målen.

Expansionen av sjukvården har följt på en allmän tillväxt av den offentliga sektorn under 1950- och 60-talen. Det har funnits en bred politisk enighet om nyttan av sjukvårdens utbredning. Samtidigt har det inte utbildats några övergripande mål utan de medicinska experterna har själva i stor utsträckning fått bestämma sina mål. Därmed har utvecklingen gått mot en allt mer ökande specialisering och rent medicinsk-teknisk syn på sjukvården. De specialiteter som varit framgångsrika ur denna rent medicinska synvinkel har också erhållit status och störst resurser. Bristen på sociala mål i sjukvården leder till en expansion som tar utgångspunkt i nya tekniker.

Ett viktigt problem enligt flera "icke-användare" är att politikerna inte har något att sätta emot klinikernas strävan mot specialisering. Det finns få mål att värdera begäran om anslag efter. Därmed blir det ofta olika klinikers styrka gentemot varandra som ger utslag. Inte minst klinikchefens status och personlighet spelar stor roll.

Från många "icke-användares" synvinkel är det inte datortomografins kapital-kostnad som är det intressanta, utan dess driftskostnader. Man menar att metoden borde spara in personal och vårdplatser, eftersom undersökningarna kan utföras ambulant. Det allvarliga, och där en del kritik finns, är om datortomografen inte uppfyller sina förväntningar på detta område.

En sammanfattning

Totalt sett får man säga att datortomografen är ett exempel på en ny teknik som väl uppfyller de förväntningar som dess efterfrågare hade. Den har blivit ett mycket viktigt instrument för tumördiagnostiken för ett flertal kroppsorgan. Den har fått en avgörande och enligt neurokirurger, neurologer och neuroradiologer en närmast revolutionerande betydelse för diagnostik av skallen.

Datortomografen kan generellt sägas ha gett mycket goda **diagnostiska bidrag**, både för kroppen och skallen. Den har också fått klar **diagnostisk betydelse** för skallen, d v s den har givit sådan information att andra metoder har ersatts. För vissa organ, som t ex njurarna, har också kroppstomografen haft diagnostisk betydelse genom att reducera antalet angiografier.

Vi har också sett att datortomografen i vissa fall kan ha **behandlingsmässig betydelse** i så motto att den ändrar eller mera exakt inriktar en behandling. Detta är t ex fallet för hjärnblödning, hjärninfarkt, vissa tumörer i skallen, för vissa mjukdelstumörer som behandlas inom ortopedin samt för strålbehandling.

I stort sett får man dock säga att datortomografen inte haft någon avgörande inverkan på behandlingen, utan utgör enbart ett instrument för bättre och säkrare diagnos. I vissa fall ligger det diagnostiska instrumentet så långt framme att det över huvud taget inte finns några behandlingsmöjligheter.

Om vi diskuterar i termer av **bättre behandling, friskare patienter** eller betydelse för **folkhälsan**, så har datortomografin hittills inte vist några direkta effekter. Det är heller ingen inom de kliniska disciplinerna som använder datortomografin, som begärt detta av en ny diagnosteknik. Däremot kan man uppenbart se ytterligare bidrag som datortomografin givit. I de fall där den ersätter invasiva kontrasttekniker ger den en mera human och mindre orosfylld undersökning för patienten.

Det är endast sk "icke-användare" av datortomografin som mera explicit diskuterar tekniken ur sociala och hälsovårdsmässiga aspekter. Dessa representerar också sjukvårdsspecialiteter, som är mindre framgångsrika sedda ur ett rent medicinskt/tekniskt perspektiv. De har lärt sig att beakta även och i vissa fall kanske främst sociala och psykologiska aspekter i vårdarbetet. Det blir därmed naturligt för dem att relatera en ny teknik till de frågor som för den egna disciplinen kanske är de viktigaste.

18. RÖNTGENLÄKARROLLEN

Efter att ha närmare berört datortomografins bidrag, skall vi gå över till att försöka beskriva karakteristiska drag i röntgenpersonalens arbete. I detta kapitel behandlas röntgenläkarna. Arbetet beskrivs med utgångspunkt i olika röntgenmetoder. Via en konkret beskrivning av och jämförelse mellan olika metoder tror vi att det finns förutsättningar att förstå de förändringar som inträtt i samband med datortomografin och också de värderingar och den kultur som präglar miljön.

Underlag till detta kapitel är ett omfattande observationsmaterial, skriftligen dokumenterat. Ett urval av detta finns dokumenterat i Berggren et al 1980, 81.

För att underlätta läsarens förståelse finns i bilaga (5) några fotografier av olika undersökningar.

Röntgenläkarens arbetsuppgifter

En heltäckande bild av röntgenläkarens arbetssituation är svår att ge. Röntgenkliniker vid universitetssjukhus skall täcka in ett flertal verksamhetsområden, förutom patientundersökningar också forskning och utbildning. För dessa syften finns ett par olika kategorier av läkare, vars arbetsuppgifter delvis är likartade och delvis av varierande slag. Överläkare och biträdande överläkare skall förutom en del patientundersökningar bedriva undervisning för underläkare som är under utbildning för att få specialistkompetens som röntgenläkare. Till detta kommer att en viss tid skall avsättas för forskningsändamål.

Röntgenläkarens främsta uppgift är att vara konsult åt klinikerna. I detta syfte har han att ta fram en diagnos och ge svar på klinikernas frågeställning. I sitt arbete som konsult har röntgenläkaren ett stort antal olika undersökningsmetoder till sin hjälp, vilka bygger på röntgenstrålning med undantag för ultraljud och isotopteknik. Ett karakteristiskt drag är mängden av metoder, patienter och frågeställningar läkaren arbetar med och som gör att hans arbetsdag är uppdelad på en mängd aktiviteter, såsom undersökningar, bildgranskning och diagnosställande, samt eventuellt administrativt arbete. Till detta kommer forskningsarbete och studier. I denna till synes splittrade värld måste läkaren hela tiden vara beredd att fatta beslut med kort varsel.

På en hög generaliseringsnivå kan man i huvudsak urskilja tre karakteristiska arbetsuppgifter för röntgenläkaren. Dessa är:

- o Kontakten med klinikern, främst genom röntgenronder.
- o Patientundersökningar.
- o Diagnosarbetet/bildgranskning.

Röntgenronder

Kontakten med klinikerna är en betydelsefull och karakteristisk uppgift i röntgenläkarens arbetssituation. Den avgörande rollen i denna kontakt spelar

röntgenronden. Den hålles för vissa kliniker dagligen och för andra ett par gånger i veckan.

Röntgenronden fungerar som ett diskussionsforum mellan kliniker och radiologer. Vid denna presenterar radiologen bilder från undersökningar av speciellt intresse som gjorts under föregående dag och den diagnos han ställt. Här finns tillfälle för klinikern att ställa frågor och diskutera eventuell fortsättning på diagnosökandet.

Att leda röntgenronder anses vara ett mycket kvalificerat arbete och ansvaret lägges ofta på överläkare eller biträdande överläkare. I andra fall kan det direkta röntgenrondsarbetet utföras av en underläkare, vilket sker i utbildnings- syfte, och en överläkare övervakar på olika sätt underläkarens arbete. Röntgenronden är en gammal institution i Sverige. Den betraktas som mycket betydelsefull för röntgenprofessionens anseende. Detta visar sig bl a i att man ägnar åtskilliga timmar dagligen åt förberedelse och genomgång av röntgenronderna. Vidare upptar olika demonstrationsrum en betydande del av utrymmet på en röntgenklinik.

Ett flertal kliniska läkare påpekar att röntgen är den klinik som man har mest kontakt med och att denna spelar en stor roll i behandlings- och diagnosprocessen.

I vissa andra länder, t ex USA, förekommer sällan röntgenronder. Detta får till effekt att de kliniska läkarna självmant tar kontakt med röntgenläkaren och besöker röntgenkliniken.

Patientundersökning

En av röntgenläkarens viktigaste uppgifter är att undersöka patienter. Dessa undersökningar utgör en förutsättning för att en diagnos skall kunna tas fram. Beroende på undersökningarnas olika karaktär görs de ibland av röntgenläkare och röntgenassistent/sköterska tillsammans och ibland självständigt av röntgenassistenter. De undersökningar som utförs av läkaren är främst sådana som har ett invasivt inslag. Det gäller exempelvis för olika former av kärl- och punktionsundersökningar.

Kärlröntgen är behäftad med vissa risker och ställer stora krav på anatomiska kunskaper, såväl som praktiskt handlag eller snarare viss fingerfärdighet för att kunna placera katetrarna rätt i kärlen. Samtidigt skall det ge patienterna så litet obehag som möjligt. Vid vävnadsprov (biopsi) använder man en fin nål och även här ställs krav på skicklighet, då annars lätt skada kan uppkomma.

Bukundersökningar och andra undersökningar där genomlysning används görs också av röntgenläkaren. Det anses vara mycket viktigt att läkaren är med och själv bedömer hur bilderna exponeras. I många fall måste också kontrast ges på ett speciellt sätt och förloppet studeras av läkaren i genomlysning. Dessutom får han en mycket bättre bild av de undersökta organen genom att studera dem i genomlysning. Han ställer också sin första och ofta avgörande diagnos vid undersökningstillfället. Ett ytterligare skäl till att de görs av läkaren är att stråldoserna är relativt höga och måste hållas nere på ett minimum.

I vissa andra länder, t ex USA, är det vanligt att undersökning av buken med genomlysning göres av röntgenassistenterna självständigt. I sådana fall arbetar

man i mycket högre grad med standardiserad undersökning och bildexponering.

Omfattningen på läkarens arbete med patientundersökningar varierar betydligt. Buksektionen har i jämförelse med lung/hjärtsektionen i betydligt högre grad direkt undersökningsarbete.

Diagnosställande

En tredje uppgift för röntgenläkaren är att ställa diagnos. Detta är den mest centrala uppgiften inom röntgen. Övrig verksamhet, såsom undersökning och röntgenronder, syftar till att skapa förutsättningar för och diskussion av en diagnos. Bildgranskning är något som i hög grad präglar röntgenmiljön. Ständigt är ett flertal läkare sysselsatta med att studera röntgenbilder. Stora utrymmen är avsatta för ljusbord, där de framkallade röntgenbilderna hängs upp av röntgenbiträden (se bilaga 4 bild 1).

En första bedömning görs vid undersökningen. Detta gäller undersökningar som angiografi och genomlysning, där läkaren kan se undersökt område i genomlysning på en TV-skärm. Den mera djupgående diagnostiseringen sker oftast vid ett senare tillfälle, då läkaren får en längre stund mellan undersökningarna.

En viktig uppgift fyller primärgranskningen, med vilket avses den bedömning av bilderna som sker i anslutning till undersökningen. Den anses vara ett ansvarsfullt och kvalificerat arbete som ställer krav på lång diagnostisk erfarenhet och skötes ofta av någon överläkare, biträdande överläkare eller annan erfaren läkare. Vid primärgranskningen skriver läkaren ett första diagnosutlåtande. Flertalet fall som bedömes vid primärgranskningen avser sådana undersökningar som genomföres självständigt av röntgenassistenter, t ex lungröntgen.

En jämförelse mellan olika röntgenmetoder

Som ett övergripande krav finns att undersökningarna skall gå snabbt, vilket också präglar arbetet inom röntgenkliniken. Genom att kliniken är en serviceenhet och inte har det direkta ansvaret för patientens behandling kan arbetet helt inriktas på syftet med undersökningarna, nämligen att få fram en diagnos.

Läkaren arbetar på något sätt hela tiden koncentrerad kring bilder. Kontakten med patienten spelar en relativt liten roll och syftar främst till att få patienten samarbetsvillig för att göra det möjligt att genomföra undersökningarna. Allt arbete som röntgenläkaren gör syftar till arbetets klimax då bilden framträder. Hur ser den ut? Vad visar den?

Andra symptom hos patienten spelar för röntgenläkaren en mera begränsad roll. De är bakgrundsfaktorer som i viss mån påverkar val av undersökningsmetod och diagnos. Det är inte nödvändigt för röntgenläkaren att se patienten eller att prata med denna. Hans viktigaste "samarbetspartners" är röntgenassistent, sköterska, övriga röntgenläkare och röntgenutrustningen.

De flesta röntgenmetoder ställer krav på ett tekniskt handlag hos läkaren. Hans erfarenheter av olika apparater, deras prestanda och hur de skall användas för att ge bästa möjliga bild är viktiga faktorer. Tekniskt intresse ligger också bakom flertalet röntgenläkares yrkesval.

Angiografi

En aspekt av praktiskt handlag sätts på prov vid olika former av angiografier. Grovt uttryckt går en angiografiundersökning ut på att föra upp smala slangar (katetrar) i blodkärlen och sedan spruta kontrastmedel i dessa för att få kärlet eller det specifikt kärlsystem att framträda. Läkaren använder en nål med vilken han letar sig in i kärlet. Han har hjälp av en TV-skärm, där han i genomlysning kan se nålen. En tråd fungerar som ledare, över vilken en kateter förs in i blodkärlet. I katetern sprutas kontrast och under tiden tas ett flertal röntgenbilder. Vid hjärtat kan kontrastgivningen filmas. Att snabbt kunna placera katetrar rätt i blodkärlen är en förutsättning för en snabb och väl genomförd undersökning. Skickligheten är mycket varierande mellan olika röntgenläkare. Arbetet fordrar lång erfarenhet och dessutom ett visst mån av praktiskt handlag. Statuskillnader mellan olika läkare avgörs till viss del efter deras skicklighet vid angiografier (se bilaga 4 bild 2).

I Sverige har angiografen också haft en historiskt stark ställning. Detta präglar också bilden av verksamheten på röntgenkliniken. Flertalet läkare menar att angiografen är den mest intressanta och professionellt mest utmanande undersökningen.

Bukundersökning

Däremot är inte bukundersökningar med genomlysning lika populära och betraktas av en del röntgenläkare som en aning tråkiga. Vid angiografiska undersökningar arbetar läkare och övrig personal i ett arbetslag, där de olika kategoriernas insatser oftast löper parallellt. Undersökningarna får litet grand av operationskaraktär över sig, vilket förstärks av krav på sterilitet och uppmärksamhet i arbetet. Samma laganda finns inte vid undersökning av buken med genomlysning. Läkaren sköter i stort sett ensam undersökningsarbetet, medan röntgenassistenten i huvudsak förbereder patienten och assisterar läkaren med bildkassetter. Assistenten vistas också en stor del av tiden utanför undersökningsrummet. För diagnosställandet har läkaren hjälp av en TV-skärm, där han i genomlysning kan se aktuellt undersökningsområde. Läkaren har att flytta röntgenrör och röntgenbord i olika lägen i förhållande till varandra, så att bästa möjliga bild ges av undersökningsområdet. Det är vanligt att patienten får svälja kontrast samtidigt som bildexponering sker. Bukundersökning är en praktiskt metod. Många gånger är det besvärligt för läkaren, t ex om patienten är gammal och inte har möjligheter att själva hjälpa till vid förflyttning mellan olika lägen. Vid dessa fall blir arbetet tungt. Läkaren kan själv exponera bilden inifrån undersökningsrummet, vilket han gör när en nöjaktig bild framträder på TV-skärmen (se bilaga 4 bild 3).

Datortomografi

Vid datortomografiska undersökningar har läkaren en begränsad uppgift i själva undersökningsarbetet. Patientförberedelse och genomförande av undersökning sköts av röntgenassistenterna självständigt. Läkaren har att huvudsakligen bestämma hur undersökningen skall genomföras, vilka snitt som skall tas och att sedan bedöma dess resultat.

Datortomografen har medfört att läkaren fått lära sig att se anatomin ur ett nytt perspektiv. Uppenbarligen har detta medfört olika svårighet för läkarna.

Några menar att detta gör man mycket snabbt medan andra till en början hade svårt att känna igen olika organ. Att datortomografen ställer krav på diagnostisk erfarenhet är ställt utan tvekan. Uppdelningen mellan själva undersökningen och diagnosarbetet är också utpräglad. Läkaren deltar i allmänhet inte vid själva bildtagningen. Han bestämmer vilka snitt som skall tas och går sedan iväg för andra uppgifter (se bilaga 4 bild 4 och 5).

Något krav på läkarens hantverksskicklighet ställer sålunda inte datortomografen. Den professionella utmaningen bör då ligga helt på förmågan att bestämma hur snitten skall tas och sedan diagnostisera de framtagna bilderna. En av de viktigaste stimulansfaktorerna är säkerligen att röntgenläkaren med hjälp av datortomografi i många fall kan ge klinikern säkrare besked, t ex om en tumörs läge och utbredning.

Datortomografen är samtidigt fortfarande något av nyhetens behag för många läkare, åtminstone vad gäller helkroppsdatortomografen. Detta sätter också sin prägel på läkarnas inställning. Flertalet tycker att det är intressant att syssla med datortomografi och att lära sig en ny teknik. Viss skillnad framträder på så sätt att några läkare menar sig inte vara intresserade av att lära sig själva hanterandet av datortomografen utan inriktar sig på det diagnostiska arbetet. Andra läkare vill däremot också arbeta upp en kompetens i skötseln av datortomografen. Möjligen framträder en viss skillnad mellan äldre och yngre läkare på så sätt att de äldre mera inriktar sig på den diagnostiska sidan medan de yngre också är intresserade av själva tekniken.

Ultraljud

Ultraljudet är en ny och annorlunda diagnosteknik för röntgen. I huvudsak har den endast funnits under ca 4-5 år och i någon mera utbredd omfattning först från 1979. Tekniken har haft svårt att snabbt slå sig in i röntgenmiljön, då den ställer krav på nya kunskaper hos röntgenläkaren. För honom medför ultraljudet ett nytt sätt att se organ, där man har begränsad hjälp av de traditionella röntgenologiska kunskaperna. Den bygger inte på röntgenstrålar utan på reflekterande ljudvågor och ultraljudsbilden har en karaktär som starkt avviker från en röntgenbild. Röntgenläkaren måste för en riktig och framgångsrik användning av ultraljudet tillägna sig nya kunskaper, som kräver relativt lång tid.

Ett viktigt inslag i ultraljudstekniken är det annorlunda sätt på vilket ultraljudsbilden tas fram. Varje undersökning och patient är unik och röntgenläkaren måste bygga upp sin bild av det undersökta organet under tiden som undersökningen pågår. Svårigheterna att finna avsett organ varierar mellan olika patienter, vilket ger en viss grad av oplanerbarhet och oförutsägbarhet åt undersökningarna. Ultraljudstekniken är inte på samma sätt som datortomografin automatiserad utan ställer krav på personlig skicklighet hos läkaren även vid själva undersökningen.

Läkaren diagnostiserar under tiden som undersökningen pågår och exponerar bilder som skall illustrera/avspegla den diagnos han kommit fram till. En viss yttre likhet mellan ultraljud och genomlysningundersökning av buken framträder här. Vid de senare undersökningarna ställer läkaren vid själva undersökningstillfället huvudparten av diagnosen och tar bilder som skall visa på resultatet. Ultraljudstekniken är en mera personberoende teknik och ofta är det en klar fördel om den undersökande läkaren också gör den slutliga granskningen av bilderna och ställer diagnos (se bilaga 4 bild 6).

Sammanfattningsvis kan sägas att ultraljudstekniken i likhet med olika angiografiska undersökningar kräver erfarenhet och skicklighet hos läkaren även vid själva undersökningstillfället, även om det inte krävs samma grad av hantverksarbete som vid angiografier.

Ultraljudet skapar en "helhet" genom att det är samma läkare som utför undersökningen som också ställer diagnos och att denna är nära sammankopplad med det tekniska undersökningsarbetet. Dessa karakteristika är inte alltid så uttalade vid andra undersökningar.

Några effekter för röntgenläkarna av datortomografin

Det är uppenbart att de flesta röntgenläkare har funnit ny stimulans i datortomografin. Den har gjort det möjligt för honom att öka sina röntgenologiska kunskaper och ännu bättre fylla sin roll som konsult åt klinikerna. Datortomografin har gett ökad information om olika tumörers utbredning, läge och till viss del karaktär. För neuroradiologen har den fått avgörande inflytande och i betydande drag ersatt luftskalle- och angiografiundersökningar. Den har också gett ny kunskap t ex genom att skilja ut en hjärnblödning från en hjärninfarkt.

Tekniken har fått mycket stor uppmärksamhet inom medicinen och åter placerat röntgen på en central plats. Det fanns annars tendenser till att den snabba utvecklingen inom röntgenologin stagnerade mot slutet av 1960-talet.

I datortomografin fick röntgenläkaren en ny möjlighet att få en ledande roll i jakten på cancersjukdomar. Det är lite grand i det här perspektivet som man får se uppmärksamheten på datortomografin. Undersökningsarbetet i sig är inte den största utmaningen, utan möjligheter att med hjälp av säkrare och ökad information ytterligare förstärka sin professionella ställning. Det är också i planerings- och granskningsarbetet som läkaren finner sin största tillfredsställelse, även om det finns exempel på läkare som även finner tekniken som sådan fascinerande. Uppenbarligen är tekniskt intresse och praktiskt handlag två faktorer som tidigare präglat personer som valt röntgenyrket. Därför är en intressant fråga på vilket sätt datortomografin har och kommer att påverka röntgenläkarnas arbetsinnehåll. Som en följd på mycket lång sikt kan man till och med tänka sig att det blir personer med en annan karaktär som i framtiden kommer att välja röntgenläkaryrket.

Effekter för neuroradiologer

Datortomografin har medfört överlägset störst effekt för neuroradiologen. Genom att luftskalle och angiografi till betydande del ersatts med datortomografi har också metoder som kräver stor arbetsinsats av läkaren, som är oförutsägbara och till viss del riskfyllda ersatts med en "automatisk" metod, med ytterst begränsat utrymme för praktiskt undersökningsarbete för läkaren. En betydande del av arbetstiden har förts över till planering, övervakning och diagnosställande av datortomografiundersökningar.

En viktig effekt av datortomografin för neuroradiologen är just den markanta nedgången i antalet angiografier, men framför allt luftskalleundersökningar. Den har lett till att man tvingats till att i stor utsträckning centralisera dessa undersökningar till läns- och regionsjukhusen. Luftskalle görs över huvud taget

inte på andra sjukhus än de regionala. Allmänradiologen kan därmed inte upprätthålla sin kompetens längre och det är inte någon idé att utbilda honom i luftskalleundersökning. Det har t o m framkommit rädsla för att neuroradiologen inte får tillräcklig praktisk erfarenhet av luftskalle, eftersom de görs så sällan, vid Lunds lasarett cirka en per fjorton dagar, vilket skall jämföras med cirka två per dag före datortomografin.

Vi ser här att datortomografin redan efter 8-10 års användning i det kliniska arbetet börjar få sådana effekter att äldre metoder är på väg att slås ut även för de mest specialiserade neuroradiologerna. Det finns läkare som ser på utvecklingen med viss skepsis, men samtidigt tycks ändå flertalet neuro-radiologer ha funnit ny och kraftfull stimulans i en brytningsperiod. Nya avancerade diagnosmetoder, som befinner sig under utveckling, såsom NMR, och gammatomografer har gemensamt med datortomografen att de inte kommer att erbjuda samma praktiska "hantverksarbete" som angiografi och luftskalle kan göra. Man kan säga att neuroradiologin gick in i en helt ny era i samband med att kombinationen datorer och röntgen blev möjlig i datortomografen. Däremot har röntgenläkaren delvis funnit ersättning i den diagnostiska utmaning som datortomografin ger och ökad stimulans i relationen med klinikerna. Det är också i dessa dimensioner man får se frågan om varför neuroröntgen så snabbt accepterat en ny teknologi som medfört mycket stora förändringar för organisationen.

Effekter för kropsröntgenologer

När det gäller datortomografins effekter för de röntgenläkare som arbetar med helkroppstomografi är det svårare att skilja ut några sådana klara effekter som för neuroradiologen. Ännu har man inte sett några drastiska minskningar i andra undersökningar, såsom genomlysning av buken eller angiografier. Datortomografin har istället i huvudsak blivit ett instrument som ger ökad och säkrare information. Under den tid som vi studerat datortomografin (1979-81) har en stor del av undersökningarna gjorts i utvärderings- eller forskningssyfte. Man har sålunda prövat ut vid vilka sjukdomsbilder och vid vilka frågeställningar som datortomografin ger diagnostiska bidrag.

För röntgenläkaren har sålunda de etablerade undersökningsmetoderna hittills levt kvar i nästan samma omfattning som före det att datortomografin anskaffades. Effekterna har istället inneburit fler metoder och en kanske ännu mer variationsrik arbetsdag. Datortomografin ger för röntgenläkaren i jämförelse med äldre metoder nya diagnostiska erfarenheter och framför allt ny kunskap. Datortomografiska undersökningar kan han sätta i relation till genomlysning, angiografier och på senare tid också ultraljud. Effekterna handlar sålunda om fler arbetsuppgifter, nya erfarenheter och ökad säkerhet i det professionella arbetet snarare än att en ny metod till betydande del slagit ut de etablerade metoderna, vilket är fallet för neuroradiologen.

19. RÖNTGENASSISTENTROLLEN

I detta kapitel skall röntgenassistenternas arbetsuppgifter beskrivas. Därefter studeras några effekter som datortomografin medfört för assistentens arbets-situation.

I likhet med det föregående kapitlet bygger beskrivningen på egna observa-tioner, samt intervjuer med ett flertal röntgenassister i Lunds lasarett, ett material som delvis dokumenterats i Berggren 1980/81.

Röntgenassistentens arbetsuppgifter

Mängden av och variationen i undersökningar ställer krav på en bred kunskap hos röntgenassistenterna. I syfte att kunna upprätthålla kompetens i ett flertal metoder och för att ge variation i arbetet cirkulerar vanligen assistenterna enligt scheman emellan olika undersökningsmetoder. Flertalet röntgenassisten-ter upplever variationen i arbetsuppgifterna som viktig och vill inte byta till en fast tjänst inom t ex angiografi eller datortomografi. Variationen i arbetsupp-gifterna skulle gå förlorad och risk finnas att bredden i ens kunskaper förfaller. Samtidigt trivs de assistenter som har fasta tjänster bra och vill inte gå tillbaka till cirkulationssystemet. Detta gäller även assistenter som under ett flertal år haft fast tjänst inom viss avdelning. Förmodligen kan de fasta tjänsterna bjuda fördelar i form av ökad säkerhet i arbetet och djupare kunskaper. Samtidigt är det uppenbart att de i relation till de cirkulerande assistenterna får något av en undervisande och arbetsledande roll. Angiografin i sig präglas av stor variation.

Vi har i våra iakttagelser av olika röntgenundersökningar övergripande kunnat se tre kategorier av arbetsuppgifter för röntgenassister/undersköterskor:

- o En kategori där hon arbetar självständigt med bildtagning.
- o En andra kategori där hon arbetar som medhjälpare till läkaren.
- o En tredje kategori där hon fungerar som apparatoperatör.

Vi har inte i analysen gjort någon konsekvent åtskillnad mellan röntgen-assister och undersköterskor. Röntgenassistenten har motsvarande ställning som en legitimerad sjuksköterska och har utbildning i skötsel av all röntgen-utrustning och t ex kompetens att ge patienter injektioner. Undersköterskor finns främst på laboratorier, där man utför invasiva undersökningar. Deras huvudsakliga uppgift är patientförberedelse och att assistera läkaren vid undersökningen.

Självständigt arbete

Vid röntgenundersökning utan invasiv karaktär eller genomlysning arbetar röntgenassistenterna självständigt, ofta i lag om två stycken. Den främsta uppgiften är att snabbt få fram ett antal bilder av god kvalitet som röntgen-läkaren kan ha som diagnostiskt underlag. Det gäller för assistenterna att väl känna till olika röntgenapparater och hur de skall ställas in för att ge god bildkvalitet. Samtidigt måste arbetet gå snabbt, då man beräknat en mycket kort tid per patient. Assistenterna arbetar i ett högt uppdrivet tempo.

Röntgenassistenterna sköter självständigt inställning av röntgenapparater och arbetar oftast efter ett standardschema, där det är bestämt på vilket sätt bilderna skall exponeras. Läkaren bedömer oftast inte undersökningen förrän efter att den är genomförd. Någon gång bestäms att ytterligare bilder skall tas. Dessa undersökningar sker övervägande polikliniskt.

Till bilden hör att en mycket stor procentuell andel av undersökningarna vid röntgenkliniken hör till denna kategori, t ex lungröntgen, varför de fyller en viktig funktion. I många fall kommer de också in i ett tidigt skede av utredningsgången och kan ge tidiga diagnoser, där relativt goda behandlingsmöjligheter finns.

Exempel på en undersökning

1. Röntgenassistenten tittar på remissen och kallar sedan in patienten.
2. Patienten tar av sig på den kroppsdel som skall röntgas.
3. Eventuellt intag av kontrastmedel i form av dryck.
4. Röntgenassistenten instruerar patienten hur han/hon skall placera sig.
5. Röntgenassistenten ställer in apparaten och laddar med bildkassett.
6. Säger till patienten att vara still och hålla andan.
7. Går ut och exponerar bilden.
8. Går in efter tagning och tar ut bildkassett och sätter in en ny.
9. Placerar patient och röntgenrör i nytt läge och går åter ut för att ta en ny bild.
10. Mellan varje bildtagning går någon av de två assistenterna och lämnar respektive hämtar kassetter.

Undersökningen tar ca 10 minuter i sin helhet. Efter bildtagningen hämtar assistenterna bilderna ur framkallningsapparaten och hänger upp dem på ljusborden i primärgranskningsrummet.

Någon gång skall patienten ha ett besked med sig och då diagnostiserar läkare som har hand om primärgranskningen direkt och skriver ett utlåtande på remissen.

Dessa undersökningar, som för lekmannen kan verka händelselösa, erbjuder assistenterna stimulans genom att de får självständig kontroll över en hel undersökning, från patientintag till att bilderna framkallas. Assistenterna blir inte som vid genomlysning styrda av läkaren utan kan själva bestämma tempo. Därmed får de också ett direkt ansvar för bildkvalitet och kan känna en utmaning i just detta krav.

Assistent till läkare

En viktig uppgift för röntgenassistenten är att assistera läkaren i dennes arbete.

En stor del av undersökningarna på röntgenavdelningen utföres av läkare, där röntgenassistenten sköter röntgenutrustningen, förbereder patienten för undersökning samt assisterar läkaren vid utförandet av undersökningen. Beroende på undersökningens karaktär är assistentuppgifterna mer eller mindre omfattande.

Vid undersökning av **bukorgan** med genomlysning tar röntgenassistenten in patienten och förbereder denne med eventuell sond eller ger kontrast intravenöst. Därutöver är det i huvudsak fråga om att assistera läkaren med bildkassetter. Röntgenassistenten vistas under större delen av undersökningen utanför undersökningsrummet och själva undersökningen utför läkaren ensam. Bildexponeringen skötes också av läkaren (se bilaga 4 bild 7).

Många röntgenassistenter tycker att denna undersökningsform inte är speciellt rolig. Man ser sig enbart som bärare av bildkassetter och upplever sig inte ha någon aktiv del i själva undersökningen. Genom att läkaren själv ställer in röntgenutrustningen och exponerar får inte heller röntgenassistenten någon känsla av att kunna påverka bildkvaliteten. Undersökningsformen ger dock visst utrymme för lagarbete mellan läkare och assistent. Deras olika arbetsinsatser sker till stor del samtidigt, medan däremot arbetsuppgifterna är klart uppdelade. Även mellan röntgenassistenterna finns det utrymme för laganda.

Den undersökning där lagandan är mest utpräglad är **angiografin**, som ibland tar upp till 2-3 timmar i anspråk. Läkare, röntgenassistent och undersköterska arbetar tillsammans under större delen av tiden. Arbetet ställer krav på snabbhet och noggrannhet. För bra bilder fordras att läkare och assistent kan samarbeta och känner varandra väl. När exempelvis kontrastinsprutning och bildtagning skall ske samtidigt gäller det att röntgenassistenten hela tiden är medveten om vad som händer.

Angiografi anses av flertalet röntgenassistenter vara den roligaste undersökningen, där man får arbeta med ett varierat slag av uppgifter. Även om röntgenassistent och undersköterska inte direkt kan påverka hur snabbt en angiografi genomföres känner de ofta det som en personlig framgång om läkaren snabbt och smärtfritt kan placera en kateter rätt i blodkärlet. En bra undersökning är en sådan som gått snabbt under förutsättning att bilderna har god kvalitet.

Röntgenassistenten som apparatoperatör

En av röntgenassistentens främsta uppgifter är manövrering av röntgenutrustningen. Här ingår inställning av apparaten, laddning med bildkassetter och bildtagning. Ansvar för bra bildkvalitet vad avser röntgenutrustningens inställning faller på röntgenassistenten.

Dessa uppgifter är viktiga inslag vid alla former av undersökningar, men är mer eller mindre omfattande. Vid flertalet metoder såsom slätröntgen och undersökning av buken med hjälp av genomlysning fordrar apparaturen en relativt begränsad insats på dessa områden. Man arbetar med vissa standardinställningar och utrustningen är relativt lätt att sköta.

I dessa avseenden har **datortomografin** delvis inneburit en förändring. Det tekniska handhavandet spelar en relativt större roll. För en effektiv skötsel av helkroppsdatortomografin har det varit nödvändigt att ha en röntgenassistent med fast tjänst som behärskar tekniken. Genom teknikens komplexitet har det inte varit möjligt att snabbt föra in den i det ordinarie cirkulationssystemet för röntgenassistenter.

En mycket stor del av arbetet vid undersökning med datortomografi är centrerat till själva maskinen. Av en undersökning på ca 30-40 minuter är i allmänhet endast 10-15% direkt patienthantering. Den resterande tiden går åt till att manövrera själva datortomografin från den särskilda manöverpanelen. Ett annat utmärkande drag är att läkaren och röntgenassistent utför sina uppgifter tidsmässigt uppdelat. I stort sett skötes hela undersökningen och handhavandet av röntgenutrustningen av röntgenassistenten, medan läkaren endast under ett kort skede bedömer hur undersökningen skall läggas upp. I övrigt arbetar röntgenassistenterna självständigt. I fall där man inte har någon läkare som koncentrerat arbetar vid datortomografin får röntgenassistenterna självmant göra vissa bedömningar. Det kan gälla om man skall ta fler snitt eller att avgöra om en patient kan tas in akut vid förfrågan per telefon. Arbetet med datortomografi har för assistenten högre grad av självständighet gentemot läkarna än flertalet övriga metoder.

I arbetet med datortomografin är själva tekniken en begränsande faktor för hur snabbt en undersökning kan genomföras. Man kan inte ta snitt med större hastighet än ett per minut, vilket av röntgenassistenterna upplevs som alldeles för lång tid att vänta. Samtidigt är det för kort tid att utföra annat arbete. Detta skiljer arbetet med datortomografi från övriga metoder, där variationen i arbetshastighet och möjligheter att själv bestämma är ett positivt inslag. Datortomografin däremot "lunkar" fram med samma hastighet hela tiden.

Bildhanteringen är annorlunda. Istället för som vid konventionella röntgenmetoder hantera bildkassetter, får man bilderna på en dataskärm och för sedan över dem på diskar. Man kan också med hjälp av en särskild framkallningsapparat få vanliga foton av de bilder som lagrats på diskarna.

Datortomografin har infört ett nytt språkbruk i röntgenassistentens vardag. För att kunna hantera apparaten måste assistenterna tillägna sig ett stort antal engelska datortermer. I sin kommunikation inbördes och med läkarna måste en del av dessa termer användas, då det inte har utvecklats något motsvarande språk på svenska.

Vid andra undersökningsformer förekommer mycket sparsamt diskussion kring själva apparaten. Den sträcker sig oftast till hur många bilder per sekund som skall tas. Istället ligger koncentrationen på patientbehandlingen och de professionella svårigheter som finns att snabbt och effektivt utföra undersökningen. Vid datortomografin är i allmänhet själva patientbehandlingen mycket enkel. Undantag finns t ex vid undersökning för planering av strålbehandling vid onkologisk klinik. I dessa situationer krävs en mycket omsorgsfull uppläggning av patienten för att snitten skall komma exakt på det sätt som avses.

Flertalet röntgenassistenter som arbetat med helkroppsdatortomografin har upplevt arbetet som intressant. Den har fortfarande nyhetens behag och ses ur detta perspektiv. Man betonar att det är intressant att lära sig en ny metod.

Ingen kan ge en beskrivning av teknikens effekter för ens arbete under en längre tid.

En skulltomograf är enklare att hantera än kroppstomografen. Samtliga röntgenassistenter och till viss del undersköterskor behärskar tekniken och bildar ett sammansvetsat lag. Någon formaliserad utbildningsverksamhet mellan röntgenassistenter förekommer inte.

Flertalet röntgenassistenter inom neuroavdelningen menar att datortomografi är tråkig att arbeta med i jämförelse med angiografi och luftskalle. Vid de senare bildar läkare och assistenter ett arbetslag och metoderna präglas av variation, oförutsägbarhet och vissa risker, som ställer krav på noggrannhet. De ger därmed en helt annan grad av utmaning. Tidigare har denna form av undersökningar starkt karakteriserat arbetet på neuroradiologiska avdelningen. I samband med datortomografi reducerades de kraftigt och ersattes av en metod som är monoton, förutsägbar och utan krav på praktiskt handlag. För assistenter inom neuroradiologi har effekterna för arbetet varit större än för assistenter på andra röntgenavdelningar, där en större del av arbetet redan hade vissa monotona drag, såsom att bära bildkassetter och ta slätröntgenbilder. Dessutom har endast i mycket liten grad variationsrika invasiva tekniker minskat inom röntgen på kroppssidan.

Några effekter av datortomografin för röntgenassistenten

För röntgenassistenterna är det konkreta undersökningsarbetet det viktigaste. Hon har inte som läkaren möjlighet att finna stimulans i diagnos- och röntgenrondsarbetet. Möjligheterna att alternera mellan olika metoder upplevs också av de flesta assistenter som viktigt. I vissa fall är arbetet relativt rutinartat, i andra fall är metoderna och den enskilda undersökningen variationsrik med höga krav på assistentens arbete. Det finns på så sätt möjligheter för assistenterna att "dra sig tillbaka" från kravställande angiografiundersökningar till t ex vanlig lungröntgen. Den närliggande och kravställande relation som angiografin tvingar på assistenten kan bytas ut till en situation där hon relativt självständigt utför sina arbetsuppgifter.

De äldre metoder som vi studerat, genomlysning, angiografi, slätröntgen, etc har det gemensamt att assistenterna på ett handgripligt sätt arbetar med röntgenutrustning och patient. Vid varje undersökning måste röntgenapparaten ställas in på visst sätt, patienten placeras i relation till röntgenrör, o s v. Bildkvaliteten beror således till viss del på ett riktigt assistentarbete och möjligheterna att arbeta snabbt sammanhänger också med assistenternas personliga skicklighet, t ex då kontrast skall ges.

Vid angiografier och vissa genomlysningsundersökningar tar också förberedelse av undersökningsmaterial och patient och sedan själva undersökningsarbetet betydande tid i anspråk. Själva exponeringarna utgör en ytterst begränsad del.

Vid datortomografin är situationen helt annorlunda. I mycket stor utsträckning har det "praktiska" undersökningsarbetet automatiserats. När väl patienten lagt sig på patientbordet på ett visst sätt, går exponering av och förflyttning mellan de olika snitten utan någon annan inblandning från assistent eller läkare än att de trycker på olika knappar. Betydande delar av de arbetsuppgifter som assistenten har vid andra undersökningsmetoder har sålunda byggts in i dator-tomografen.

Kravet på assistenten har blivit att förutom att ge eventuell kontrast, vara dataoperatör, d v s manövrera maskinen så att den tar de avsedda snitten, exponera med rätt ljusstyrka, flytta patienten till nästa snitt, o s v. Därmed har också en stor del av den tid som vid andra metoder används för praktiskt patient- och undersökningsarbete flyttats till att sköta en datamaskin (se bilaga 4 bild 8).

Genom att datortomografin tagit över en betydande del av det praktiska assistentarbetet är det också teknikens möjligheter som har det avgörande inflytandet på hur snabbt en undersökning utförs. En kroppstomografi kan i genomsnitt inte ta snitt snabbare än 1 per minut och skalltomografin (1) inte snabbare än 1 per 3 minuter. Denna situation avviker markant från situationen vid angiografi och genomlysning av buken. Här är det assistenten, läkaren och patienten som avgör hur undersökningen gestaltar sig. Man kan sålunda säga att datortomografin är en tekniskt styrd undersökning, medan de äldre metoderna är personstyrda.

Vi har tidigare sagt att flertalet assistenter finner datortomografin mindre stimulerande än t ex angiografin. Det är intressant att få lära sig och arbeta med en ny teknik. Samtidigt uppfattar man just de icke påverkbara delarna av en datortomografisk undersökning som störande. Som ett ytterligare inslag bland röntgenmetoderna är sålunda datortomografin välkommen, men inte som den teknik som slår ut de äldre. Det senare visar sig klart inom neuroröntgen. Precis som för neuroradiologen har datortomografin för assistenten inneburit en markant sänkning av antalet luftskalle- och angiografiundersökningar. Variationsrika och personstyrda undersökningar har ersatts av en teknik som i markant högre grad styr assistentens arbetssituation. Till viss del är arbetet med datortomografin för assistenten mera självständigt i förhållande till läkarna, men samtidigt har den styrning som läkarna svarar för vid konventionella röntgenmetoder ersatts av en styrning från teknikens sida.

För assistenter som fått en fast tjänstgöring vid angiografi eller helkroppstomografi kommer andra aspekter in i bilden. De får helt andra möjligheter att lära sig att djupare behärska en viss metod och blir arbetsledare i förhållande till övriga assistenter respektive undersköterskor. Det är i detta perspektiv man skall se att assistenter med fast tjänst inte önskar byta. Om man får arbeta med helkroppstomografi på heltid finns förutsättningar att lära sig förstå dess sätt att fungera, att få ett helhetsperspektiv av undersökningen genom att ta hand om patientbokning, patienthantering, undersökning, o s v. Det finns till och med vissa förutsättningar för assistenten att lära sig lite om röntgendiagnostik, när läkaren gör en första granskning och studerar snitten på datorskärmen. Sammantaget kan sålunda datortomografin ge assistenten ett varierat arbete, som hon till viss del själv kan planera och överblicka.

För assistenterna på neuroröntgen finns inte samma möjligheter att ersätta förlusten av variationsrika undersökningar med helhetsperspektiv och kontroll över den egna arbetssituationen. Undersökningarna är i jämförelse med helkroppstomografi än mer monotona. Patientförberedelse och hantering är än mera standardiserade. Avvikelse förekommer främst i de fall då patienten måste undersökas under narkos. I dessa situationer blir datortomografiundersökningen mer händelserik, då narkoskravet inför mera praktiskt och personstyrt arbete.

Dessa effekter måste för assistenterna inom neuroröntgen upplevas mycket klart genom att deras arbetstid i så stor utsträckning domineras av datortomografin. Dessutom fanns inom neuroröntgen inte i samma omfattning som för övrig röntgen, så stor andel relativt monotona undersökningar som genomlysning och slätröntgen. Till skillnad ifrån röntgenassistenterna på allmän röntgen så har sålunda datortomografen för assistenterna inom neuroradiologi haft betydande effekter just genom att den i betydande grad ersatt de för assistenterna utmanande och variationsrika undersökningarna. Till detta skall läggas att assistenterna till skillnad ifrån läkarna inte kan finna ny stimulans i det diagnostiska arbetet eller i kontakten med klinikerna vid röntgenronderna. Datortomografin har sålunda fått störst effekt för assistenterna inom neuroröntgen, där också metoden ur diagnostisk synvinkel hittills visat sig ha överlägset störst betydelse.

20. PATIENTENS SITUATION VID OLIKA UNDERSÖKNINGSMETODER

I detta kapitel analyserar vi patientens situation vid olika undersökningsmetoder. Syftet är att bättre försöka förstå på vilket sätt olika tekniker påverkar "patienthanteringen" inom röntgenkliniken. Huvudsyftet är att jämföra patientens situation vid datortomografin med några av de andra metoderna. Särskilt intresse ägnas åt teknikernas påverkan på relationen mellan läkare och patient.

Även detta kapitel bygger på observationsmaterial från Lunds lasarett, kompletterat med intervjuer med läkare och patienter. En del av materialet har dokumenterats i Berggren 1980/81.

Genomlysning

Bukundersökning med hjälp av genomlysning är en praktisk metod för läkaren. För att få fram de bilder han önskar måste röntgenrör, patientbord och patient flyttas i förhållande till varandra. Läkaren vistas vid patientens sida under större delen av undersökningen. Patienten kan därmed till viss del se vad som händer, eller åtminstone få en bild av situationen och sätta in obehag i form av kontrast och språng i ett sammanhang. Det är en föga angenäm miljö för patienten, som säkert önskar att undersökningen skall vara över så snart som möjligt. Miljön är också teknisk, steril och under större delen av undersökningen är det i det närmaste totalt mörkt i undersökningsrummet.

Undersökningssituationen ger också många ovanliga och generande situationer för patienten, t ex att klä av sig naken eller få en slang i ändtarmen. Hon har aldrig någon möjlighet att möta personalen på en likvärdig nivå. Läkaren är vid undersökningen koncentrerad till de rent tekniska faktorerna, att få en bild, få apparaten att fungera, ge kontrast o s v. Det är en gammal institutionaliserad miljö som utbildat sina regler. Patienten är väl medveten om detta och anpassar sig och pratar t ex inte om sin sjukdom annat än vid direkta frågor. Hela tiden ges, trots vissa fördelar jämfört med datortomografi, en väldigt fragmentarisk kontakt mellan läkare och patient. Det är en situation där patienten får få tillfällen att ställa frågor eller veta vad som skall göras. Detta ställer krav på att patienten är desto bättre informerad redan från början.

Undersökningarna går också i ett mycket högt tempo, där allt är rutiniserat och programmerat. Vid genomlysningsundersökningar är just kravet på snabbhet en av de saker som tydligast lyser igenom. Det blir därmed en fördel med patienter som snabbt gör vad man säger till dem. Den tekniska strukturen och själva undersökningssituationen gör att det inte kan skapas förtroende mellan patient och vårdpersonal i rent mänskliga dimensioner.

Även vid genomlysning sker all kontakt mellan vårdpersonal och patient via hjälpmedel, såsom röntgenapparater, kontrastmuggar och katetrar, o s v. Personalen har alltid en "objektiv" anledning till att närma sig patienten. Det sker ingen kontakt av rent mänsklig natur.

Ofta skapar eller förstärker röntgenundersökningen en underdånighet hos patienten. Som tidigare sagts är hon rädd för situationen som är ovan och

besvärlig. Samtidigt är denna rutin för personalen. Hos äldre patienter finns en tacksamhet och vana att förhålla sig passiv gentemot sjukhussystemet. En situation där medicinska tekniker dominerar förstärker osäkerheten.

Det finns en effektivt fungerande och väl rutiniserad miljö, där alla vet exakt vad som skall göras och hur. Det finns alltid en objektiv anledning för läkare och assistenter att gå i kontakt med patienten. Till skillnad från vid datortomografin ger genomlysning dock viss kontakt och framför allt ser personalen hur patienten reagerar, då man måste "ta i patienten" för att få en bra bild. Detta skapar förutsättningar för att personalen lättare identifierar sig med patienten och bättre förstår hennes situation. En besvärlig undersökning gör man inte utan skäl. Framför allt inte om man måste stå för besvärligheterna själv. Här finns inte en automatisk teknik som tar hand om dessa självständigt.

Invasiv kontraströntgen

Kärldröntgen av olika slag har utvecklats till en metod som åtminstone tidigare starkt satte sin prägel på större röntgenkliniker. Den har haft stort inflytande på hur utbildningssystem utformats och till stor del styrt den kultur och de värderingar som skapats inom röntgen. Sannolikt har den också haft betydelse för att "välja ut" de personligheter som specialiserat sig på röntgen.

Undersökningen kräver ett totalt engagemang av läkare och röntgenassistenter i själva undersökningen för att den skall ge ett lyckat resultat. Metoden ställer höga krav på skicklighet i kombination med försiktighet på grund av metodens risk. Detta skall oftast kombineras med krav på snabbhet.

Metodens karaktär ger en direkt kontakt mellan läkare och patient. Apparaturen finns inte som en mellanliggande enhet som vid datortomografi utan röntgenapparaten ligger snarare "utanför" den direkta läkar-patientrelationen. Röntgenutrustningen kommer istället in som ett hjälpmedel för att få fram bilderna.

Undersökningen tar lång tid och personalen kan inte undvika de direkta patientrelationerna. Det är en hantverksmetod som skapar oro och besvär hos patienten, som kan ha behov av att få svar på sina frågor. Detta är något som läkaren inte heller kan undvika. Undersökningen präglas av helhet, grupparbete, och sker i en händelserik miljö. Man ser aktiva och engagerade människor, vilket också är en förutsättning, då det inte går att överlämna undersökningen till en maskin. Allt man gör kan man se effekterna av direkt hos patienten.

Metoden är som sagt mycket mer kravställande för både assistent och läkare och präglas mer av vårdssituation. Det är en riskfylld undersökning som är ångestfylld, sannolikt både för patient och personal. Det finns här ingen maskin som tar över och hanterar ångesten hos personalen. Därmed finns förutsättningar för att det utbildas starka kriterier för användning av kärldröntgen-metoden.

För patienten är kärldröntgen en besvärlig och ångestfylld undersökning som bjuder på många obehagliga överraskningar. Patienten vet ofta inte vad som skall hända, när det gör ont nästa gång eller när det hela skall ta slut. Undersökningen är för honom ett stort antal händelser som han inte kan överblicka eller uppskatta.

För personalen är det en mänsklig teknik, på så sätt att det går att göra fel, ställa in fel, etc. Den andra sidan av detta är att det går att bli skicklig. Därmed skapas drivkrafter för personalens intresse. Metoden är något man kan påverka genom sin personliga skicklighet.

Vi har här en dramatisk teknik som i sig står i paritet till sjukdomarnas ofta allvarliga karaktär. Det finns inget utrymme för blaserade läkare och assistenter. Det fordras ett totalt engagemang. Vid undersökningen pratar man om vad denna kräver och inte så mycket om själva inställningen av apparater. Undersökningen och patienten är det centrala. Det är en oförutsägbar undersökning som bjuder på variation i varje enskilt fall.

Vi har således en undersökning som är besvärlig och obehaglig för patienten, som samtidigt är intressant och stimulerande för läkare och övrig personal. Regleringsmekanismen mot ett överutnyttjande finns då i att läkaren dagligen har direktkontakt med patientens besvärligheter, då han själv måste stå för dessa. Det är inte så att undersökningen skapar någon egentlig kontakt mellan läkare och patient. Snarare att det finns mindre risk för "överutnyttjande" genom denna regleringsmekanism.

Tekniken, röntgenapparaten, är ett hjälpmedel för läkaren, men inget ersättningsmedel för honom. Det är inte så att det förekommer eller ens finns förutsättningar för "mänsklig" kontakt mellan patient och läkare. Det är inte heller i denna dimension som datortomografins effekter är intressant, utan snarare om tekniken avskärmar läkaren från patienten, vilket leder till bristande helhetssyn och kanske på lång sikt ett överutnyttjande av tekniken.

Datortomografi

Datortomografen erbjuder en helt annorlunda miljö för patienten än flertalet andra undersökningar. Den finns i ett sterilt, starkt upplyst rum och maskinen dominerar totalt. Personalen befinner sig i huvudsak i ett annat rum än patienten som får en i jämförelse med andra metoder mer fragmentarisk bild av vad som händer. Hon kan inte på samma sätt som vid andra undersökningar följa verksamheten och relatera vad som händer direkt till iakttagelser av personalens handlande.

Likasa kombinerar man en högeffektiv och förutsägbar metod med oförutsägbara tekniker. Man ger kontrastvätska genom injektion som är föremål för osäkerhet och skapar oro hos patienten. Detta går inte på samma sätt som själva snitttagningen att exakt bestämma tidsåtgång för.

Ett markant drag i miljön kring datortomografen är att både läkare och röntgenassistenter i huvudsak intresserar sig för maskinen. Endast vid fragmentariska situationer intresserar man sig för patienten. Maskinen tillåter en automatisk hantering av patienten. Det är maskinen som styr undersökningen och bestämmer arbetstempot. Det finns få möjligheter för personalen att variera eller påverka maskinen, när väl undersökningen börjat.

Läkaren får unika möjligheter att koncentrera sig på bilder och inte på patienten. Han kan utnyttja tekniken för att helt komma bort från patienten och studerar henne i form av bilder på en dataskärm. Verksamheten handlar om hur maskinen skall hanteras. Det annorlunda sättet att ta fram bilder ställer

krav på uppmärksamhet. Här finns ett avancerat system för hantering och granskning av bilder som tydligen ligger i linje med läkarens intresse. Våra observationer har gett en bild av koncentration på snittbilder, siffror och paneler. Undersökningarna är helt koncentrerade till maskinen. Den har också medfört ett språkbruk som är totalt obegripligt för utomstående. Till skillnad från vid många andra undersökningar styrs språkbruket av maskinen och inte av patientens situation. Konkret talar man mer om "kant-i-kant" eller "överlappande bilder" och mindre om patientens sjukdom.

Genom att det är en automatisk teknik behöver läkaren inte delta i framtagandet av bilder. Läkaren blir sporadisk gäst i laboratoriet för att titta på färdiga bilder.

För läkaren ger datortomografin som sagt rikliga möjligheter att arbeta med bildgranskning. Här finns alla tekniska möjligheter till hjälp. Man kan variera ljusheten, söka efter och mäta olika tätheter med ljuspenna och ta foton osv. "Maskinen tar hand om patienten" medan personalen, främst röntgenassistenter, tar hand om maskinen. Tekniken blir ett instrument för personalen att avskärma sig från patienten. Den blir ett slags intermediärt instrument. Andra tekniker fungerar inte på detta sätt. De utgör istället hjälpmedel för personalen i deras arbete med att få fram röntgenbilder. Här är den viktiga skillnaden säkerligen datortomografins automatiska karaktär. Det finns ingen anledning för röntgenläkare att titta på patienten, henne sköter ju maskinen om automatiskt. Det har aldrig funnits något självändamål för läkaren att gå i kontakt med patienten. Detta sker enbart för att få fram bilder som diagnosunderlag.

Det finns alltid en teknik mellan personalen och patienten i undersöknings-situationen. Några rent mänskliga relationer förekommer sällan. Verksamheten tycks pågå runt patienten. Hon är placerad i en maskin som tar hand om honom. Personalen finns främst för skötsel av det system som maskinen ställer krav på. Irritation uppkommer främst när maskinen inte klarar sina uppgifter. Det här är en situation med liten vårdkaraktär, som dock finns hos flertalet andra röntgenundersökningar.

På något sätt är det endast patienten som fortfarande försöker bevara något slags gammal helhet i de tidigare teknikerna. Patienten kan ju inte delas. Det är nu hela tiden maskinen som kräver omvårdnad, service och tillsyn. Det är endast för att göra patienten klar för undersökning som personalen har direkt anledning att gå i kontakt med patienten. Här finns också en intressant skillnad mellan det primitiva systemet att hantera patienten med och maskinens effektivitet. Vi ser människans primitiva mjukhet i relation till teknikens hårdhet. I miljön finns också en motsättning mellan de ofta mycket cancersjuka patienterna och deras oro och kanske till och med livsöden som skall avgöras vid undersökningen och en teknisk effektiv och känslolös undersökningsmetod. Det är egentligen ett fantastiskt fint instrument för att just avskärma sig från patientens sjukdom eller döden. Man har nu fått en mycket dyr maskin som kräver stor omvårdnad som man har måst bygga in i systemet. Det blir maskinen som kommer i första hand. Man diskuterar även sjukdomar och patientens organ med hjälp av ett "maskinspråk", exempelvis säger man att man skall "köra" ett visst organ när man menar att det skall undersökas. Man får ett känslolöst språk.

I vissa situationer klarar tekniken inte av hanteringen av patienten ensam. Maskinen kan för vissa patienter skapa sådan oro att det blir omöjligt att genomföra undersökning med patienten i vaket tillstånd. Här måste man ta gamla tekniker till hjälp. Narkostekniken blir då ett hjälpmedel för att kunna utnyttja datortomografins automatiska möjligheter. Man får ta till personalintensiva tekniker för den patienthantering som datortomografin inte klarar.

Vid datortomografin finns också möjligheter för personalen att diskutera världsliga saker eller över huvud taget faktorer som inte är relaterade till undersökningen. Personalen lär sig hantera situationen på ett annat sätt. Teknikens automatiska karaktär distanserar personalen från patienten, vilket gör att man får en förstärkt blaserad och odramatisk situation. Denna kontrasterar då starkt mot allvaret i de flesta undersökningssituationer där ofta dödssjuka patienter väntar på besked.

Ultraljud

Till skillnad från vid de övriga undersökningsmetoderna vistas läkaren vid patientens sida under större delen av undersökningen. Det förekommer inte ett springande ut och in och inga störande ljud. Det finns således förutsättningar för samtal mellan läkare och patient eller kanske viktigare möjligheten för patienten att få direkta svar på sina frågor. Det finns samtidigt en uppenbar begränsning i att läkaren måste koncentrera sig på undersökningen, som i sig är mycket krävande för att få fram de organstrukturer som önskas. Någon större roll spelar dock inte de faktiska möjligheterna för samtal mellan läkare och patient. Det finns inom röntgenprofessionen en starkt outtalad regel om att man inte pratar med patienten i onödan. Skälet är att man inte har tillräcklig kännedom om patientens vare sig sjukdom eller sociala situation. Man kan därmed ställa till med mer skada än nytta om man inlåter sig i samtal kring sjukdomen med patienten. Detta överlåter man till den behandlande läkaren.

Ultraljudsundersökningar medför, till skillnad från de övriga undersökningarna, inga direkta obehagliga eller besvärliga förberedelser. Man använder inte kontrast och behöver därmed inte heller lägga ned sond i matstrupen eller ge kontrast intravenöst. Undantag finns i de fall då man använder ultraljud i samband med vävnadsprov (biopsi). Här apterar man en fin nål på ultraljudshuvudet och kan med hjälp av ultraljudsbilden inrikta provtagningen mera exakt. Vi har också hört patienter, som menar att undersökningsarbetet kan medföra smärta, då läkaren för ultraljudshuvudet fram och tillbaka över buken om man tex har gallinflammation. Men i det stora flertalet fall är själva undersökningen föga besvärlig. Däremot är flertalet patienter oroliga för resultatet. Ultraljud är således en odramatisk metod som ofta kommer in i en kedja av undersökningar för allvarliga, ofta cancersjukdomar.

I en del fall kan ultraljud bli en undersökning som gör att patienten undviker kärldröntgen. Detta är fallet då ultraljudet utesluter förekomst av eventuell tumör. I andra fall blir den bara ytterligare en undersökning i kedjan, som ger läkarna ytterligare kunskaper och ökad säkerhet i diagnosarbetet. För patienten medför den ny väntan och oro.

Ett slående drag hos ultraljudstekniken i jämförelse med datortomografi är att apparat och läkare bildar en gemensam enhet. Tekniken blir ett hjälpmedel för läkaren i hans diagnosarbete. Elektroniken vid ultraljud gör inte undersöknings-

arbetet automatiskt. Istället ställer den ökade möjligheter för läkaren, utan att ta bort den rent praktiska utmaningen. Ultraljudet är ett exempel på en ny teknologi som kräver handlag och personlig skicklighet även i själva undersökningssituationen. Vid ultraljud ser man också starkt engagerade läkare. Det finns möjligheter för läkaren att till viss del skapa en avslappnad stämning. Det är en av de få undersökningar på röntgen där patienten har goda förutsättningar att se vad läkaren gör och därmed förstå vad som händer. Läkaren befinner sig i en situation, där han svårigen kan undvika att ha direkt kontakt med patienten och svara på eventuella frågor. Det finns inte som vid datortomografin någon maskin att ta skydd bakom. Det är fortfarande läkaren som gör huvudarbetet, det är honom som patienten ser. Detta är en helt annan situation än vid datortomografi där maskinen tagit över.

Ultraljudet är också en teknik som till viss del kräver tålamod t ex att läkaren i vissa fall måste "leta efter" avsett organ under en längre tid. Tekniken ger inte samma utåt sett händelserika intryck. Det är inte snabbhet och handlingskraft som dominerar på samma sätt som vid andra metoder.

Ultraljudstekniken är sålunda ett tekniskt hjälpmedel och inte som datortomografin en automatisk teknik som till viss del tagit över undersökningsarbetet. Ultraljud ger ett spontant intryck av en teknik, där man lyckats kombinera avancerad teknik med mänskliga förhållanden och mänsklig storlek.

En sammanfattning

Genomgången illustrerar klart att olika metoder har sin speciella karaktär. En markant skillnad framträder mellan å ena sidan datortomografin och å den andra övriga metoder. Vid de senare metoderna fungerar röntgentekniken som ett hjälpinstrument för läkarna, medan datortomografin genom sin automatiska karaktär i betydande grad tagit över viktiga undersökningsuppgifter från röntgenläkare och assistent.

Vid datortomografi har således en markant effekt blivit att "tekniken tvingat" personalen att distansera sig från patienten. Tekniken ställer i sig stora krav på uppmärksamhet och blir ett nästan mellanliggande hinder för patient och personalrelationen. Den viktigaste frågan är huruvida detta förhållande på längre sikt kan medföra ett ökat utnyttjande av denna automatiska teknik. Frågan bygger på tanken att personalens direkta kontakt med patienten i sig utgör en begränsande faktor, som ständigt aktualiserar frågan om undersökningen är motiverad.

Vid en teknik som datortomografi, som i stort sett är risk- och smärtfri för patienten och dessutom automatisk faller sålunda två vid andra metoder begränsande faktorer bort. Vid angiografi finns både närkontakten med patientens sjukdom och riskerna, medan vid ultraljud läkarens kontakt med patienten fortfarande finns kvar.

Det är sålunda inte läkarna eller assistenterna som personer som skapar en i viss mån blaserad och steril miljö kring datortomografin. Tvärtom har vi genomgående sett personal med ett djupt intresse för sitt arbete och som behandlar patienterna på bästa sätt. Det är snarare de olika teknikerna som skapar olika förutsättningar respektive begränsningar vid undersökningarna.

DEL V. EN TOLKNING AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT OCH SPRIDNING UR ETT AKTÖRSPERSPEKTIV

I föreliggande del ges en tolkning av händelseförloppet. Tolkningen tar utgångspunkt i de olika aktörsgrupper som presenterats i fallbeskrivningen. Vi försöker således förstå den subjektiva logiken hos respektive aktör och belysa det specifika handlandet. Vår tolkning tar stöd i det specifika händelseförlopp som beskrivits i fallbeskrivningen. En mera organisationsteoretisk tolkning görs i del VI, där också den teori som väglett oss explicit kopplas till resonemanget.

Tolkningen görs utifrån ett försök att besvara de i kapitel I beskrivna frågeställningarna. De är:

- Varför utvecklades datortomografin inom EMI?
- Varför satsade EMI på egen produktion av datortomografi?
- Varför kunde de etablerade röntgenföretagen ta över marknaden för datortomografi, fastän de var sena med sin egen etablering?
- Varför var EMI inte ledande i utvecklingen av tredje och fjärde generationerna av datortomografi från och med 1976?
- Varför kunde EMI inte stanna kvar på marknaden?
- Hur kunde datortomografin få en sådan snabb spridning, inte minst i jämförelse med ultraljudet?

För frågeställningen om datortomografins snabba spridning tar vi hjälp av en jämförelse med ultraljudet.

De två första frågeställningarna behandlas i kapitel 21, de tre därpå följande i kapitel 22. Den sista frågan tas upp i kapitel 23.

21. EMI:s UTVECKLING AV OCH SATSNING PÅ EGEN PRODUKTION AV DATORTOMOGRAFI

I detta kapitel försöker vi förstå varför det var EMI som utvecklade den första datortomografen och satsade på egen exploatering av tekniken.

Varför utvecklades datortomografin inom EMI?

För att belysa frågan om varför datortomografin utvecklades inom EMI är det nödvändigt att dels studera uppfinnaren Hounsfield, dels miljön inom företaget.

Hounsfield hade arbetat inom EMI:s centrala forskningsenhet sedan början av 1950-talet och i huvudsak sysslat med utveckling av radarsystem och datorer. Sitt intresse inom radar tog han med sig från tiden för andra världskriget och till bilden hör att han under hela sitt liv haft ett djupt intresse för teknik, företrädesvis elektronik.

Genom att mot mitten av 1960-talet syssla med tekniker för mönsteridentifikation och datalagring fick han ett intresse i just överföring av och hur man effektivast skulle ta tillvara information. Han blev uppmärksam på att återvinning av lagrad information var ett svårt problem. Han hade under 1967 sysslat med magnetiska lagringstekniker, men kommit till slutsatsen att denna forskning inte kunna hålla jämna steg med den snabba utvecklingen inom dataområdet. Han kom till en situation där han blev tvungen till att söka efter nya infallsvinklar på sin forskning. Under en tre månaders "betänketid" funderade han på hur man skulle kunna avslöja innehållet i en stängd låda utan att öppna den. Med en strålning som skickades igenom lådan, kristaller som mottagare av energin och en dator för lagring och återvinning av information skulle det eventuellt bli möjligt att öka upplösningen i återgivningen med upp till 100 gånger. Han prövade först med gammastrålning, vilken visade sig ha ett för lågt energiinnehåll för detta syfte och gick över till röntgenstrålning.

Mot denna bakgrund blir det ingen överraskning att just Hounsfield kom på idén till datortomografi. I honom har vi en dataexpert, en man med stor erfarenhet inom mönsteridentifikationstekniker och som sysslat mycket med detta inom radarområdet. Han har dessutom tid att tänka i nya banor. Inom EMI:s forskningsenhet fanns det resurser för honom att syssla med nya saker som han var intresserad av. Här var det inget problem för honom att få forskningsmässigt stöd för att kunna gå vidare med sin idé. Dessutom hade mot slutet av 1960-talet de teoretiska och tekniska förutsättningarna för kombinationsteknologin datortomografi vuxit till en praktisk möjlighet.

Från Hounsfields arbete med datortomografi framgår att sökandet och idékläckandet inte sker i ett vakuum. Både den enskilde personen och den organisation han arbetar i, dvs deras historia, bestämmer till stor del inom vilka områden som idéerna uppkommer. Hounsfield såväl som Röntgen själv illustrerar betydelsen av att ha en djup förankring inom ett visst område. Det tycks i varje fall krävas kunskaper av speciell karaktär för att lyckas inom områden för avancerade tekniker. Förmodligen är karaktären helt annorlunda när vi talar om lågteknologi, såsom en annorlunda förpackning eller idéer till nya tidskrifter inom förlagsbranschen.

För Hounsfield gällde det främst att kunna kombinera redan kända teknologier och kunskaper, men göra det på ett annorlunda sätt och med nya användningsområden. EMI och Hounsfield hade gemensamma intressen. Han hade ett intresse för forskning och utvecklingsarbete, som passade bra in i den centrala forskningsenheten inom EMI. Här fick han stöd för sina strävanden. Organisationen förstärkte hans möjligheter att arbeta vidare på sitt intresse för radar från kriget. Man kan se datortomografin som en ackumulation av ett flertal innovationer som Hounsfield varit involverad i, såsom datorer, elektronik, radar och mönsteridentifikationstekniker. Forskningsmiljön ger belöningar för uppfinningsrikedom och ställer samtidigt inga lönsamhetskrav på en person som Hounsfield.

Av Hounsfields arbete inom EMI framgår att han till en början inte tänkte på en ny röntgenteknik. Över huvud taget var han inte applikationsorienterad i sitt handlande. Han drevs istället av sin strävan efter generellt bättre tekniker för mönsteridentifikation. Hela hans energi inriktades ursprungligen på att utveckla de matematiska algoritmer som var en förutsättning för tekniken och till att utveckla datormodeller för rekonstruktion av bilder. Hans första tankar rörde sig också om militära tillämpningar, ett område där han hade störst erfarenheter.

Han kände allmänt till att röntgenteknik var ett område med ett ineffektivt utnyttjande av strålningen. Efter att ha provat med gammastrålning gick han över till röntgenstrålning. Först när han i sin primitiva testbänk sett att det gick att få fram bilder och gått till sin ledning för att få stöd, blev det aktuellt att tänka på att idén kanske skulle bedömas av röntgenläkare. Först herefter kom projektet att inriktas på en ny röntgenteknik.

I det fortsatta arbetet är det röntgenläkarna som driver projektet i riktning mot att först utveckla en prototyp för undersökning av skallen. När läkarna blev klara över den långa exponeringstiden stod det klart för dem att skallen var det enda praktiska tillämpningsområdet till en början. Hounsfield å sin sida ville hela tiden bygga en prototyp som gav möjligheter att experimentera med hela kroppen. Att inrikta sig på enbart skallen upplevde han som en inskränkning i sitt forskningsarbete. Han hade inga tankar på eller kunskaper om att just undersökning av skallen var ett område som verkligen behövde en ny teknik.

I utvecklingsarbetet deltog förutom tre radiologer, Department of Health and Social Security (DHSS). Utan denna medverkan hade inte projektet utvecklats mot en ny röntgenmaskin. EMI och Hounsfield hade inga som helst erfarenheter av röntgenområdet och kunde inte ensamt koppla sitt kunnande inom data-lagringstekniker till röntgenområdet. Hur prototypen skulle utformas styrdes till betydande del just av radiologerna.

EMI såg till en början det hela som ett forskningsprojekt i linje med sina tidigare engagemang. Det var ett sätt att vidareutveckla sina kunskaper inom datorer, elektronik och mönsteridentifikation. EMI hade ursprungligen inga uttalade planer på att göra datortomografin till ett nytt produktområde för företaget. Denna bild stärks av att utvecklingsprojektet delvis finansierades av DHSS, och att EMI:s engagemang till en början inskränkte sig till att ställa upp med personal inom den centrala forskningsenheten. Det var viktigare för EMI att ta in DHSS i projektet än att få någon affärsmässig värdering. Detta förstärker bilden av en forskningsattityd och att man inte främst var

intresserad av datortomografin som en potentiell produkt. Genom att man fick DHSS till att stödja utvecklingsarbetet blev det ett projekt i linje med dem man bedrev för försvarsdepartementet och övrig forskning för andra uppdragsgivare.

Den prototyp som successivt växte fram hos EMI var en primitiv hantverksmodell. Egentligen fanns ingen uppfattning om hur den skulle fungera i det praktiska röntgenarbetet. Långt mindre fanns några bedömningar om marknadspotential för tekniken. Man hade ingen särskild dator kopplad till scannern, utan "bilderna" samlades upp på magnetiska band, som sedan skickades till en central dator för bearbetning. Enbart datakostnaderna blev därmed mycket stora. En parallell utveckling av minidatorer under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet, som gjorde det möjligt att koppla minidatorer till varje enskild datortomograf, blev räddningen.

Med denna bakgrund blir det inte speciellt mystiskt varför EMI utvecklade datortomografen. Den växte fram som ett rent forskningsprojekt, till viss del externt finansierat. EMI var också ett forskningstyngt företag, som sedan 1930-talet drivit forskning inom ett flertal områden kring elektronik. Man var pionjär i att utveckla TV-system och fick under andra världskriget ett djupt engagemang inom radar för användning inom olika försvarsgrenar. EMI utvecklade luftburna radarsystem och fick i samband härmed forskningsuppdrag för försvarsmakten, vilka fortsatte efter kriget.

Vid sidan om den ursprungliga grammofon/underhållningssidan utvecklades EMI till ett forskningsintensivt företag med en stor och central forskningsenhet. Man präglades av en kultur där vetenskaplig forskning sattes högt. Genom försvarsforskning hade man länge haft ett område där man inte varit utsatt för en "naturlig" marknad.

EMI var ett företag som historiskt låtit forskningen och de nya tekniker som vuxit fram styra åt vilket håll verksamheten utvecklades. Företagsledningen och marknadsföringssidan drev inte någon uttalad policy om företagets inriktning. Man växte till ett konglomerat mer av en tillfällighet än av en medveten strävan, och då för att ta hand om idéer framtagna inom forskningsavdelningen. Man hade inte heller någon organisation som kunde överblicka företagets utveckling. En gemensam koncernledning bildades först mot slutet av 1970-talet, då EMI kom in i ekonomiska svårigheter.

EMI exemplifierar den tendens som finns i vissa organisationer att isolera de enheter som sysslar med innovativ/forskningsverksamhet. Att organisera denna till en särskild forsknings- och utvecklingsenhet blir ett sätt att undvika störningar från nyheter på det gängse området. I EMI fick en ny verksamhet forskningskaraktär, där man inte ställde krav på att utvecklingsarbetet tvunget skulle leda till en produkt. Samtidigt engagerade sig företagsledningen endast begränsat under utvecklingsskedet. Först när produkten var "färdig" tog den kommersiella delen av företaget eventuellt vid.

Om man tittar på utvecklingen av datortomografin är den inget problem för EMI förrän man bestämt sig för att satsa på egen produktion. Tvärtom ökade utvecklingsarbetet EMI:s kunskaper om mönsteridentifikation, nya applikationsmöjligheter för datorer, o s v. Detta ligger i linje med ett forskningscentrerat företag och över huvud taget ger utvecklingsarbetet intryck av effektivitet. EMI hade en struktur för utvecklingsarbete som gjorde direkt stöd för varje

enskilt projekt från företagsledningen mindre betydelsefullt. Sättet att formera en projektgrupp kring utvecklingen av datortomografin tycks vara framgångsrikt. Man tog in kunskaper och erfarenheter som inte fanns inom EMI, samtidigt som man höll gruppen inom ett begränsat område. Om man jämför EMI:s centrala forskningsenhet och projektgruppen tycks överensstämmelse finnas. Man utvärderade idén helt ur vetenskaplig/teknisk synvinkel, där projektgruppen med röntgenläkare och tekniker väl passade in.

Förloppet visar också på betydelsen av en organisatorisk ram för handlandet. Inte bara det att utvecklingsarbete inom högteknologi kräver resurser som ingen enskild person kan uppbringa, utan också att idékläckaren Hounsfield var en känd och pålitlig person inom forskningsenheten. Han var sedan länge känd för sina gedigna arbeten inom närliggande områden. Man kände inom EMI till hans egenheter och inbundenhet och kunde tolka honom på ett positivt sätt. Man visste att när Hounsfield kom med något nytt var det ofta väl genomtänkt och värt att ge ett försök. När han försökte intressera några röntgenföretag för idén i början av 1970-talet möttes han däremot av ett totalt oförstående. Ser vi här en ideal kombination av individuell kreativitet och en organisatorisk ram? Här fanns en fri och öppen miljö i organisationen för uppfinnaren att verka i. Samtidigt ställdes resurser och sammanbindande mekanismer till stöd för utvecklingsarbetet. Detta var materiella och finansiella resurser såväl som tankeutbyte i en kreativ miljö.

Varför satsade EMI på egen produktion av datortomografi?

En intressant fråga är varför EMI valde att satsa på egen produktion istället för att sälja idén. Frågan blir än mer intressant, när vi sett att EMI tidigare karakteriserats av satsning på forskning och utveckling utan att alltid göra något djupt produktmässigt engagemang. Historiskt hade man utvecklat nya teknologier såsom TV-teknik, datateknik och radarteknik och i samband härmed i sin forskning tagit fram delvis nya material. EMI framstår som ett företag som legat långt framme i att utveckla vad man skulle kunna kalla genuint nya teknologier. Samtidigt hade man inte fått något djupt produktmässigt engagemang inom alla dessa områden. Det fanns exempelvis ingen produktion av TV-apparater eller datamaskiner i företagsgruppen. Det enda stora avvikande området var grammfon/underhållningssidan, som också var den historiska starten för EMI. Denna sektor drevs vid sidan av de mera forskningsintensiva områdena och medförde också ett djupt, både produkt- och marknadsmässigt engagemang. Först under 1970-talet hade med utgångspunkt från underhållningsområdet en utvidgning skett inom fritidssektorer såsom film och hotellrörelse.

Mot slutet av 1960-talet utvecklades EMI till ett löst sammanhållet konglomerat med en dåligt utvecklad övergripande organisation. Koncernen omfattade ett antal självständiga bolag med främst gemensamt ägandeintresse, men med avsaknad av en stark företagsledning. Det var en flexibel tidpunkt med öppenhet för nya idéer inom organisationen. Man hade t o m satt igång ett systematiskt letande efter områden där EMI kunde engagera sig. Nya verksamheter inom hotell och restaurangbranschen samt fritidsanläggningar blev delvis resultat av dessa ansträngningar under 1970-talet. EMI tjänade under 1960-talet pengar på en intensiv forskning åt försvarssektorn och hade dessutom The Beatles i sin kader av artister inom underhållningssektorn. Det fanns ett finansiellt överskott att stödja en expansion i.

Vid slutet av 1960-talet skedde också en omorganisation, då tre operativa områden bildades inom elektronik; försvars-, kommersiell och industriell elektronik. Samtidigt fanns starka krafter, även inom företagsledningen, för att den centrala forskningsenheten skulle knytas närmare till den kommersiella sidan och inte driva så mycket utvecklingsarbete som inte var direkt knutet till existerande produktområden. Denna förändring för forskningsenheten kom dock aldrig att realiseras, då den motarbetades av bl a John Powell. Starka krafter var således i gång för att omvandla EMI till ett divisionaliserat företag med operativa enheter. Man menade att EMI hade varit framgångsrikt i att utveckla nya produkter, men inte i att kommersialisera dem.

Vid tiden för att prototypen till datortomografin stod klar, hösten 1971, fanns också i EMI John Powell, en teknisk konsult, som engagerats för att titta på EMI:s möjligheter att utveckla nya affärsområden ur främst sitt tekniska utvecklingsarbete. I sitt sökande såg då Powell prototypen till datortomografi som en möjlig produkt. Den fanns inom ett intressant och snabbt expanderande område, medicinska tekniker. De första reaktionerna på datortomografin från röntgenprofessionen var också överväldigande. Röntgenläkare frågade på "stubinen" EMI när de kunde leverera en maskin. EMI blev närmast bländad av storleken på efterfrågan i sina första kontakter med marknaden. Att man här träffade på röntgenmarknaden, som var en stor och väl etablerad marknad kanske man inte uppmärksammade. Tidigare hade man utvecklat teknologier som inte direkt haft någon utvecklad marknad, utan där man under lång tid tvingats till att bygga upp en sådan. Detta var fallet inom t ex TV- och radarteknik. Nu träffade man på ett område där det bara tycktes vara att börja producera och sedan sålde produkten sig själv. Samtidigt agerade EMI initialt som om man hade att göra med en ytterligare genuint ny teknologi ur vilken en ny industri skulle växa fram. Man fann det viktigare att få DHSS att garantera köp av fem datortomografer än att studera och bedöma marknadskaraktären. Stödet från DHSS blev en viktig faktor för EMI:s beslut att satsa på egen produktion.

Avgörande betydelse för EMI:s beslut att satsa på egen produktion var att Powell, tillsammans med några ledande personer inom divisionen för kommersiell elektronik, mycket snabbt lyckades förankra sina strävanden hos den högsta företagsledningen. Han skapade sig själv en mycket stark ställning i organisationen, vilket visas av att han på ett par år avancerade till "group managing director" och senare vice ordförande i styrelsen i koncernen.

En annan viktig faktor för EMI:s beslut att bygga upp ett affärsområde kring datortomografin, var att man inte lyckades få något av de etablerade röntgenföretagen att köpa tillverkningslicens, långt mindre att etablera gemensam verksamhet med EMI. Längre var det enda undantaget Toshiba, som först förvärvade en marknadsföringslicens och senare rättigheter till sammansättning och egen produktion. Därmed stod det klart för EMI att för att kommersialisera datortomografiiden var man tvungen att gå ensam. Beslutet underlättades av den kraftfulla reaktionen från röntgenprofessionen.

I egna marknadsstudier 1972-1973 kom man också fram till att det fanns en tillräcklig efterfrågan, främst från USA, på skalltomografer för att göra det till en lönsam affär. Man får komma ihåg att till en början fanns inte kostnader för att bygga upp en marknads- och tillverkningsorganisation i USA med i kalkylen. Likaså fanns inte heller produktutvecklingskostnaderna för de framtida tredje

och fjärde generationerna med. EMI byggde verksamheten på produktion av datortomografer som tekniskt helt motsvarade prototypen. Det fanns också produktionsresurser inom företagsgruppens engelska bolag som inte användes och som kunde utnyttjas. Man kunde också internt rekrytera personal för produktionen av skalltomografer.

EMI:s verksamhet inom det elektroniska området tycks länge ha haft en förmedlande eller sammanbindande funktion. Man hade blivit framgångsrik på att ta fram nya tekniker och att koppla dessa till olika användningsområden, samtidigt som man undvek att bli alltför djupt engagerad i egen produktion. Man försökte medvetet bevara en flexibel organisation som snabbt kunde anpassa sig till en föränderlig miljö. Just vid tidpunkten för utvecklingen av datortomografin ser vi tendenser till att EMI till synes omedvetet bytte policy. Man band mycket snabbt kapital i nya verksamheter utan att egentligen förstå de krav som ställs för framgång. Det tycks vara vanligt att högteknologiföretag, med en förmedlande karaktär som EMI, kan träffa på just kombinationer mellan teknologier som mycket snabbt hittar ett användningsområde. EMI träffar just på kombinationen röntgen och datorer.

22. RÖNTGENFÖRETAGEN ETABLERAR EGEN PRODUKTION, MEDAN EMI SLÅS UT UR MARKNADEN

Föreliggande kapitel behandlar frågeställningarna om varför den etablerade röntgenindustrin snabbt växte sig stark inom datortomografi och varför EMI inte lyckades bli kvar på marknaden.

Varför kunde de etablerade röntgenföretagen ta över marknaden för datortomografi?

Efter att EMI fått dominera bilden totalt fram till 1975, började ett flertal andra företag bli viktiga aktörer inom datortomografi. Gamla och väl etablerade röntgenföretag, såsom General Electric, Picker och Siemens tog upp datortomografi på sitt produktprogram och erbjöd egna och delvis vidareutvecklade system. Det visade sig genast mycket svårt för EMI att via patent hålla konkurrenterna utanför området, en faktor som delvis sammanhänger med svårigheterna att patentskydda uppfinningar som bygger på kombinationer av redan existerande teknologier. Till bilden hör också att ett relativt stort antal icke traditionella röntgenföretag gav sig in i branschen. Bland dem fanns stora farmaceutiska företag som Pfizer och företag verksamma inom andra områden av medicinska tekniker såsom Searle. Andra företag med policy för högteknologier försökte också etablera sig, bland dem Ohio Nuclear. Ytterligare en grupp var små flexibla företag som gärna provade ett nytt område under en kort period och snabbt drog sig tillbaka, när det inte visade sig lönsamt. Denna grupp får exemplifieras av American Science and Engineering, ett litet familjeföretag som försökte bli framgångsrikt med ett nytt tekniskt system, men som snabbt blev tvunget att överlåta verksamheten. Över huvud taget visade det sig att för framgång i branschen krävdes stora finansiella resurser som kunde fungera som buffert under en uppbyggnadsperiod och dessutom en god kännedom om och förståelse för hur röntgenprofessionen fungerar.

EMI lärde sig successivt från början av 70-talet hur marknaden för röntgentekniker såg ut. Snabbt insåg man betydelsen av goda kontakter med röntgenprofessionen och för framgång var det avgörande att få ett förtroendefullt förhållande till denna. Man märkte genast att marknadspotentialen i Storbritannien var starkt begränsad, medan i USA stor och kommersiell. För snabb framgång blev det avgörande att satsa på USA och EMI tvingades till ett djupt, både produktions- och marknadsmässigt engagemang där. Denna satsning drog stora finansiella och personella resurser, med bl a anställning av 800 personer under ett par månader.

Man blev bländad av efterfrågan och inriktade sig på att tillfredsställa denna. Det viktigaste problemet blev hur man skulle kunna möta det enorma sug efter datortomografi som man inte förutsett. Ansträngningarna koncentrerades till att skapa effektivitet i produktionen och inte på att ligga främst på forskningsfronten, vilket tidigare varit EMI:s linje.

I sin planering styrdes EMI av tron på en långsam teknologisk utveckling i linje med tidigare erfarenheter av genuint nya teknologier. Det hade där alltid funnits tid att utveckla tekniken och att långsamt bygga upp en marknad. Istället såg man nu en bild där efterfrågan kortsiktigt växte mycket snabbt och att man för att kunna hänga med måste satsa enorma resurser. EMI insåg

kanske inte att utvecklingskostnaderna för en ny applikationsprodukt inte enbart är kopplade till den rena forsknings- och utvecklingsverksamheten, utan till stor del ligger på marknadssidan. Detta gäller framför allt för ett företag som EMI som tidigare inte haft några kontakter med medicinska teknologier.

I samband med att EMI tvingades satsa stora resurser på utveckling av en fjärdegenerationstomograf gick ledarskapet över till dotterbolaget i USA. Den forskningspersonal som sedan slutet av 60-talet arbetat tillsammans med Hounsfield i utvecklingsarbetet fick en perifer roll. En parallell utvecklingsorganisation inrättades i USA till höga kostnader. Problem uppstod med oväntat stora svårigheter att få dessa nya kroppstomografer att fungera tillfredsställande, vilket försköt lanseringen upp till ett år och medförde stora kostnader för EMI. Produktionen av datortomografer fungerade egentligen bäst, när man i England tillverkade skalltomografer av samma modell som den första prototypen. Här fanns erfarenheter att bygga på inom forskningsenheten. Kropptomografin krävde ett mera avancerat datorprogram, som kunde utveckla systemen. Dessa faktorer i kombination med den snabbt hårdnande marknaden gjorde att företaget förlorade mycket pengar på datortomografin.

Andra företag ger en helt annan bild. De stora etablerade röntgenföretagen kunde snabbt träda in i branschen. De hade de tekniska kunskaperna om röntgen och en produktionsapparat som var anpassad för en teknologi som datortomografi. Flertalet av dem, såsom General Electric, Siemens, Philips och de japanska företagen Toshiba och Hitachi är stora koncerner, som inom organisationen har tillgång till ett djupt kunnande om datorer. Den kanske viktigaste faktorn, en omfattande marknadskännet, fanns också i dessa företag och de kunde ta stöd i denna vid en expansion inom ett nytt område. Det gick därför för dem att utveckla egna produkter på 7-8 månader.

Ett gemensamt drag hos de stora röntgenföretagen är att de expanderade in på datortomografiområdet först i ett andra skede. Med deras djupa erfarenheter kan det först framstå som märkligt att de inte tidigare utvecklat en teknik som datortomografi. Det vimlade ju av idéer inom snittbildstagnig i dessa företag. Det är samtidigt ett vanligt fenomen att väletablerade företag i en viss bransch inte är först med att utveckla nya tekniker. Dessa driver i huvudsak ett helt annat slags utvecklingsarbete än EMI. Koncentrationen ligger på att vidareutveckla och förfinas redan existerande teknologier. Siemens och General Electric och de andra röntgenföretagen var också under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet sysselsatta med nya röntgengeneratorer, annorlunda utformade undersökningsbord och bättre röntgenrör, o s v. De hade helt andra utgångspunkter än EMI och drev som sagt i huvudsak forskningsverksamhet inom etablerade teknologier. De har lång och gedigen erfarenhet av röntgenområdet och krav på stor marknadspotential för en ny teknologi och låter därför osäkerheten reduceras innan man ger sig in på ett nytt område. Dessutom har de p g a sin marknadskännet lätt att snabbt bli ledande.

Istället för att vara först med att utveckla nya teknologier försöker man bygga upp ett system som snabbt och effektivt kan utnyttja vad andra organisationer har utvecklat.

Den stora expansionen, både i antal företag som gick in i branschen och i marknadens utveckling inträffade också först efter det att datortomografin blivit en realitet även för helkroppsbildning kring 1975. Fram till dess kunde EMI,

med undantag för ett par perifera företag, agera i stort sett i ensamhet. För den etablerade röntgenindustrin var en marknad som enbart omfattade neuro-radiologi alltför liten. Detta var en högt specialiserad disciplin, i huvudsak knuten till stora universitetssjukhus med neurokirurgiska och neurologiska specialiteter. En efterfrågan enbart från denna sektor skulle snabbt ebba ut. Bilden blev helt annorlunda i det skede när datortomografin kunde ta så snabba exponeringar att flertalet av kroppens organ blev möjliga att undersöka. Nu öppnades en marknad där stora och centrala områden, som kirurgi, kom att efterfråga datortomografin.

Röntgenföretagen såg datortomografi som en ytterligare röntgenteknik som de måste täcka in för att kunna erbjuda ett heltäckande sortiment. För att bli framgångsrik är det ofta en förutsättning att just kunna erbjuda ett system av tekniker. I många fall erhålls uppdrag i form av att utrusta en hel röntgenklinik och de företag med bredast sortiment har en fördel. De drevs inte av någon förhoppning om att snabbt göra vinster, utan var beredda att under en uppbyggnadsperiod satsa stora resurser för att etablera tekniken.

När det gäller företag som tidigare inte sysslat med röntgentekniker är det svårare att ge en förklaring till det stora antal företag som började med egen tillverkning. Det tycks vara ett mönster att i ett inledningsskede en ny högteknologi drar till sig stort intresse. Första halvan av 1970-talet var en expansiv period i många företag med anknytning till det medicinska området. Läkemedelsföretag, såsom Pfizer, hade under hela 1960-talet expanderat i takt med utbyggnaden av sjukvården i många länder och därur fått goda vinster som sökte en användning. Ett annat högteknologiföretag, Ohio Nuclear, sysslade primärt med nukleär medicin och ville expandera sitt diagnostiska område. Man ville undvika de traditionella röntgenteknikerna och bedömde datortomografi som en teknik med en expansiv framtid. Alla företagen hade anknytning till sjukvården och kunde utnyttja sina kunskaper och kontakter i utvecklings- och marknadsföringsarbetet. Samtidigt använde de olika strategier. Pfizer kom in i branschen genom att köpa ACTA-scannern, en datortomograf som utvecklats ur ett universitetsprojekt och som behövde finansiellt stöd för att kunna vidareutvecklas. Ohio Nuclear, som ett forskningsintensivt högteknologiföretag, utvecklade en egen datortomograf i den egna utvecklingsavdelningen. Båda företagen hade ambitioner att stanna kvar i branschen, medan ett annat stort medicinskt-tekniskt företag, Searle, drog sig ur marknaden när den började stagnera kring 1978. Pfizer såg sig tvunget att lämna marknaden 1981, medan Ohio Nuclear fortfarande finns kvar.

En viktig faktor för dessa företag är att de bedömde medicinska teknologier som ett framtidsområde och att de i sin tidigare verksamhet fått erfarenheter som kunde utnyttjas i en expansion. Om inte annat så fanns det ett utbrett marknadsnät med kontakter in i sjukvårdssystemet.

En viktig och central betydelse bakom det stora intresset under 1970-talet hos ett flertal stora företag har utvecklingen inom elektronik. När EMI började utveckla idén till datortomografi, var datorsystemen fortfarande relativt stora och med begränsade informationsbehandlings- och lagringsmöjligheter. Det stora antalet avläsningar per snitt och exponeringshastigheten ställer krav på hög datorkapacitet. Detta var också en av anledningarna till att EMI till en början planerade för att ha centrala datamaskiner. Det fanns inga tillräckligt små system, som kunde klara av de krav som datortomografin ställde. Den

snabba utvecklingen inom elektronikornrådet blev närmast räddningen. Med integrerade kretsar gick det att minska storleken på systemen och dessutom öka datamängden per enhet till ständigt sjunkande kostnader. Utan denna utveckling hade sannolikt datortomografin inte utvecklats som den gjort och aldrig fått en sådan snabb och relativt bred spridning. Snabba system för helkroppundersökning hade blivit alltför dyra och därmed praktiskt omöjliga. Datortomografin hade blivit en än mer exklusiv teknik förbehållen några enstaka specialiserade forskningskliniker och inte intressant för de stora röntgenföretagen att satsa på.

Varför kunde EMI inte stanna kvar på marknaden?

Fram till 1978 utvecklades marknaden för datortomografi mycket snabbt. På bara några år hade antalet system ökat till cirka 1.400, varav USA svarade för cirka 65%. Andra länder med ett betydande antal system var Västtyskland, Japan och Benelux-länderna. Dessa länder, främst USA, Japan och Västtyskland, förenades i karaktären på sjukvården med en ansevärd andel privatsjukvård och med röntgenläkare som fick betalt per röntgenundersökning, där de kunde resonera "ju fler undersökningar, desto mer betalt". Här fanns också en tradition för att använda nya tekniker inom medicinen och stora inflytelserika nationella röntgenföretag. Det var också i huvudsak dessa länder som svarade för marknadsefterfrågan.

Under 1978 såg man de första tendenserna till att marknaden skulle plana ut. I USA var centrala hälsomyndigheter oroliga för den utveckling som datortomografin tagit. Antalet system hade stigit mycket snabbt utan att någon egentlig utvärdering av tekniken gjorts. För att stävja en ohämmad utveckling infördes en regel som innebar att sjukhusen måste ha ett minsta patientunderlag för att få ersättning från det offentliga sjukförsäkringssystemet. På samma sätt kom regleringar i Belgien och Holland. Bl a genom dessa åtgärder sjönk antalet sålda system drastiskt 1978, i USA med mer än 50%. Marknaden för enbart skalltomografer hade också i huvudsak blivit mättad och företagen hade i stort slutat tillverka särskilda datortomografer för skallen.

Parallellt började också en mera systematisk utvärdering av datortomografin i relation till andra diagnostekniker. Det kom successivt fram resultat som gav en mera nyanterad bild av dess potentiella användningsområden. Man försökte utarbeta program för hur olika tekniker skulle användas och därmed ett mera selektivt utnyttjande av datortomografin. Den kom snabbt in i en stagnationsfas. Branschen fick också drag som brukar karakterisera ett mognadsstadium. Ett flertal företag lämnade för gott scenen och andra blev föremål för uppköp. Searle drog sig ur och sålde sitt system till EMI. Ohio Nuclear köptes upp av det stora konglomeratföretaget Johnson & Johnson. De stora röntgenföretagen började konsolidera sina ställningar och förberedde att ta över marknaden. Ledande, både tekniskt och marknadsmässigt, blev General Electric, Hitachi, Toshiba och Siemens. GE påstod sig t o m börja tjäna pengar på datortomografi. För övrigt präglades situationen av att alla företag, förutom EMI under perioden 1972-1975, förlorade pengar på sitt engagemang.

När de snabba regleringarna i främst USA kom, saknade EMI en marknadsorganisation för att hantera dessa begränsningar. Man kunde inte som GE eller de andra röntgenföretagen utnyttja en diversifierad marknadsstruktur. EMI hade satsat alla sina marknadsresurser och övervägande delen av produktions-

resurserna i USA. Det fanns inga möjligheter att balansera en nedgång i USA genom att snabbt satsa på andra regioner eller andra röntgentekniker.

I detta marknadsläge framträdde klart EMI's svaghet i att inte ha några andra utvecklade produktområden inom medicinsk teknik som kunde motbalansera datortomografins nedgång. Förvärv av ett ultraljudsföretag och ett nuklear-medicinskt företag var enbart av marginell betydelse och kom aldrig att skapa någon reell komplettering till datortomografen. Andelen datortomografiundersökningar av hela antalet röntgenundersökningar är också bara på några enstaka procent. Det är således ett område med stor risk att satsa resurser på. Häri framträder också att datortomografen inte i sig utgjorde någon bas för att bygga upp en ny industri. Det var enbart ett ytterligare sätt att röntgenundersöka, låt vara att tekniken för röntgenprofessionen var ett markant steg framåt.

Genom att datortomografen inte är en genuin nyhet, utan snabbt kunde appliceras på ett flertal kroppsorgan, blev storleken på marknaden en överraskning för EMI, som också satsade på att mycket snabbt möta den med egna resurser. Samtidigt hade kraven på fortlöpande teknisk utveckling ökat i takt med att fler företag drev utvecklingsarbete. EMI lyckades inte tillräckligt snabbt hänga med i denna process. När flera konkurrentföretag hade system med 3-4 sekunders exponeringstid, erbjöd EMI ett med 20 sekunder, som dessutom byggde på en äldre teknik, i huvudsak utvecklad i ett tidigt skede. Den hade egentligen ursprung i de strävanden som Hounsfield hade redan från början att ta fram en datortomograf för hela kroppen. Andra företag hade utvecklat system med roterande röntgenrör som gav bättre bildkvalitet. EMI blev tvunget att satsa stora resurser för att utveckla ett system som stod i paritet med konkurrenternas. Dessa satsningar i kombination med en stagnerande marknad tenderade att kväva EMI. Möjligheterna och riskerna i en tidigt utplanande bransch kunde man inte hantera. Det fanns kort om tid att tjäna in utvecklings-satsningar och då framför allt för ett företag som startade från scratch.

EMI exemplifierar ett mönster att entreprenörer ibland riskerar att bli lämnade kvar med en föråldrad teknik. Det är också ett faktum som imitatorerna utnyttjar. De kan med hjälp av sina överlägsnare resurser lära sig av de initiala misstag som entreprenörer gör och därmed reducera sina utvecklingskostnader.

Marknaden för dyra medicinska teknologier är också något särpräglad. Läkarprofessionen utvecklade snabbt önskningar och ambitioner att skaffa den nya tekniken. Det var också främst reaktioner från läkarna som företagen träffade på. Marknadsföringen skedde också till övervägande del gentemot professionen. Samtidigt är det i övervägande antalet fall inte dessa som finansierar och beslutar om inköp. Utan en god kunskap om systemets karaktär är det lätt att överskatta styrkan i efterfrågan. Man får akta sig för att tolka varje intresse från läkarprofessionen som en seriös möjlighet att sälja en datortomograf. I bilden finns många röntgenläkare från små landsortssjukhus som pratar om att skaffa en egen utrustning, där möjligheterna för godkännande från beslutsfattarna är mycket små. (1) Sannolikt har inte EMI till en början tillräckligt djupt förstått denna distinktion och av det skälet överskattat potentialen och dragit på sig en för stor kostym.

23. DATORTOMOGRAFINS OCH ULTRALJUDETS OLIKA UTVECKLINGS- OCH SPRIDNINGSFÖRLOPP

I detta kapitel diskuteras den övergripande frågan om hur datortomografin kunde få ett så kraftfullt genomslag. I analysen tar vi hjälp av en jämförelse med ultraljudet, som behandlas i kapitlets senare del.

Hur kunde datortomografin få en så snabb spridning?

Den geografiska spridningen

På ett par år lyckades EMI sälja ett par hundra datortomografer enbart i USA. Mycket snabbt kom också en stark efterfrågan från Västtyskland och Japan och successivt från en del andra länder. Under senare delen av 1970-talet blev också marknader i Latin- och Sydamerika, Mellersta Östern och Asien intressanta.

Den totala dominans för USA under de första åren sammanhängde till stor del med att EMI medvetet valde att satsa på denna marknad. Detta skedde i förvisning om att det medicinska systemet här traditionellt var mycket receptivt gentemot nya teknologier. USA-marknaden hade tex tagit till sig datorteknik mycket snabbare än flertalet andra länder. Sjukhusystemet innehöll också en betydande andel privatsjukhus, som självständigt kunde besluta om anskaffning av ny utrustning. Över huvud taget hade amerikansk sjukvård namn om sig att snabbt utnyttja nya teknologier. Genom det privata sjukvårdssystemet kunde man också se datortomografin som en investering, som skulle återbetalas på ett visst antal år. Röntgenprofessionen har här också mycket gott rykte och en forskningsinriktning som ger en öppen attityd mot nyheter.

I Västtyskland och Japan fanns också ett markant inslag av privat sjukvård, även om privata sjukhus inte är så vanliga i Västtyskland. Däremot fanns det ett stort antal privatläkare som hade ett direkt personligt intresse av att göra undersökningar. I Västtyskland fanns till en början heller inget krav på att vara röntgenläkare för att få använda datortomografi, vilket fick till följd att ett flertal privatläkare anskaffade egen utrustning och i viss mån använde den på ett intensivt sätt.

Däremot uppstod aldrig samma kraftfulla efterfrågan i Frankrike. I och för sig gjorde franska röntgenläkare samma positiva bedömning av tekniken, men hälsovårdsmyndigheterna införde snabbt regleringar som stoppade de praktiska möjligheterna för utländska röntgenföretag att sälja datortomografi. Beslutet drevs delvis fram av omvårdnad om det egna röntgenföretaget CGR, som skulle få tid att i lugn och ro utveckla sin egen teknik och dels av en generell mer reglerad hälso- och sjukvård.

I England fanns DHSS, som traditionellt intar en stark och ledande roll vid anskaffning av avancerad medicinsk utrustning. Inköp och fördelning av datortomograferna leddes också av DHSS med undantag för dem som finansierades av olika filantroper. DHSS intog också en restriktiv hållning gentemot kroppstomografin. Flertalet fick bekostas av privata finansärer. England har liksom Sverige inte någon privatsjukvård och inte heller röntgenläkare som kan göra personliga ekonomiska vinster av fler röntgenundersökningar.

Den organisatoriska spridningen

Det fanns således vissa drag på nationell nivå som gjorde att olika länder absorberade datortomografin olika snabbt. Samtidigt såg man en generell bild av hur den internationella röntgenprofessionen samstänmigt prisade tekniken, som direkt kunde sättas in i röntgenmiljön. Den innebar en förstärkning av röntgenvetenskapen, genom att den byggde på tidigare kunskaper och adderade ytterligare. Bildtolkningen tog stöd i röntgenläkarens kunskaper i anatomi och gav möjligheter för honom att öka dessa och höja kvaliteten i diagnosarbetet. Datortomografin passade också in i sättet att hantera bilder på röntgen. Successivt har röntgendiagnostik utvecklats så att till betydande del undersökning och diagnos kan utföras skilda från varandra. Det är oftast inte, som vid vissa andra diagnostekniker, t ex ultraljud, nödvändigt att samma läkare gör undersökningen och ställer diagnos. Med datortomografin fick läkaren ytterligare tekniska möjligheter t ex att granska och laborera med röntgenbilder.

En ytterligare tredje dimension lades också till röntgenbildens tidigare två och gav mer detaljinformation i dimensioner som röntgenläkaren ville ha, i dimensioner som han var van vid att söka. Den gav också möjligheter till kvantitativ information i en tidigare inte möjlig omfattning. Den låg väl i linje med tidigare undersökningar och ökade säkerheten i diagnosen. Det fanns inom röntgen ett professionellt system som stödde viss slags forskning. Man fick hög status genom att utveckla och forska inom teknologier såsom angiografi och senare datortomografi. I praktiken visade det sig vid röntgenkliniken på Lunds lasarett, där mycket snabbt så gott som samtliga läkare "kastade" sig över datortomografin, medan t ex endast två till en början sysslade med ultraljud.

En viktig och grundläggande förklaring är naturligtvis att tekniken snabbt utvecklades till att fungera i det praktiska kliniska arbetet och gav värdefull och kliniskt användbar kunskap.

En annan och betydande faktor för den snabba spridningen är det sätt som röntgendisciplinen är uppbyggd. Den utgör en serviceorganisation för flertalet kliniska discipliner och undersöker flertalet organ. På en stor universitetsklinik, som i Lund, har man också organisatoriskt delat upp kliniken efter olika organspecialiteter. Det blir då enkelt för röntgenläkarna att prova en ny teknik på olika organ. Man kan tillämpa olika undersökningstekniker på olika kroppsorgan. Möjligen kan man beskriva röntgenorganisationen med hjälp av en matrix, där olika tekniker representeras av den ena axeln och olika organsystem av den andra (se figur 1). Antal möjliga kombinationer blir därmed stort, vilket bidrar till snabb spridning. En ny teknik som sprids från de kliniska disciplinerna har inte samma möjligheter, då klinikerna är inriktade på ett eller ett par speciella organ och måste flytta sig över organisatoriska och professionella gränser för att sprida tekniken till ett nytt område.

Organsystem Tekniker	Skallen	Lungor Hjärta	Skelett	Buken	Njurar Urinvägar
Angiografi					
Genomlysning					
Slätröntgen					
Ultraljud					
Datortomografi					
Isotopteknik					

Figur 1. Exempel på olika tekniker och undersökningsområden inom röntgen.

En ny medicinsk teknologi har ofta också i sig ett positivt värde, "den måste vara bra för mänskligheten". Den behöver inte samma djupa motiv som nyheter inom flertalet andra områden för att prövas. Kan man då också som vid datortomografin stödja sig på att det är en human teknologi, som kommer att kunna ersätta luftskalle och angiografier, är det lättare att få stöd. En sådan teknologi är det lättare att tillämpa (och prova) på ett flertal organ i forskningssyfte. En ny "luftskallemetod" hade inte fått en så snabb spridning, då man tidigt utvecklat kriterier för dess användning. Man såg också att när datortomografin tillämpades för skallundersökningar det mycket snabbt utvecklades vidgade indikationer för dess användning. Psykiska sjukdomar blev föremål för undersökning i bredare omfattning än tidigare, och datortomografin kom in tidigare i utredningen än vad som var fallet för luftskalle och angiografi. På samma sätt tillämpades helkroppstomografin på ett flertal organ, ofta med en vidgad användning jämfört med angiografin. Denna vidgade användning är således en kombination av teknikens diagnostiska bidrag och dess humana karaktär.

I bilden finns också avsaknaden av en "naturlig" marknad. Efterfrågan är konstlad och styrs i stort sett av läkare och inte av dem som skall betala. Starka drivkrafter utvecklas lätt hos läkarna för en ny teknik, samtidigt som politiker och sjukvårdsadministratörer i stort saknar kunskaper med relevans för att bedöma tekniken och dessutom inte har några övergripande hälso- och sjukvårdsmål att relatera den till. Till detta kommer att det saknas tillräckligt effektiva kriterier att bedöma arbetet inom klinikerna efter. Det fanns t ex inga krav på att man skulle sänka antalet undersökningar med andra metoder eller på annat sätt kompensera tillskottet av datortomografi. Därmed kan nya tekniker lättare läggas till de övriga och utvecklas parallellt. Det finns excellenta möjligheter att pröva olika tekniker gentemot varandra. Resultatet blir ytterligare kombinationer, där gammal och ny teknologi i ett slags symbios driver varandra framåt mot nya genombrott. Konkret har vi sett exempel på hur röntgenprofessionen kombinerade angiografi med datortomografi och fick ytterligare bättre bilder.

Röntgenprofessionen är också en internationellt mycket homogen grupp. Man har ett gemensamt naturvetenskapligt övergripande synsätt och gemensamt språk. Röntgenläkaren, oberoende om han kommer från Sverige, USA eller Brasilien, drivs av samma strävan till säkrast möjliga diagnos med bästa bild. Genom denna gemenskap är det också mycket lätt att sprida kunskaper på ett internationellt plan. Antalet kongresser är stort, där världens ledande radiologer träffas. Sammankomsterna är oftast kombinerade med utställningar över nya tekniska landvinningar och läkarna har första parkett till nyheterna och kan genast diskutera dem med sina kollegor. Medicinska framsteg inom radiologi med hjälp av teknikerna publiceras frekvent i ett flertal radiologiska tidskrifter.

När det gäller den snabba spridning som kroppstomografin fått kan man göra en intressant jämförelse med skalltomografin. Engelska DHSS hade en stor betydelse i ett initalskede och gjorde utvärderingar av skalltekniken. Genom att EMI i stort sett var ensam tillverkare var det möjligt att överblicka teknikens spridning och användning. Det var också ett begränsat antal neuroradiologiska kliniker som kunde efterfråga tekniken. När kroppstomografin kom blev situationen en helt annan. Nu gick spridningen än snabbare och skedde dessutom från ett stort antal centra, som något centralt organ som DHSS ej kunde överblicka och ännu mindre kontrollera.

Det fanns ett flertal tillverkare och så gott som samtliga världens större röntgenkliniker var intresserade. Någon utvärdering av kroppstomografin före anskaffning tycktes röntgen inte ha behov av. Skalltomografin hade visat att man kan få fram hög bildkvalitet och skilja mycket små tätheter åt. Det är precis vad röntgenläkaren eftersträvade. Dessutom var apparaterna nu så snabba, att man undvek organrörelser. Snabbt trädde också filantroper in och finansierade köp, både i England och i USA och för den delen också i Sverige. Utvärderingen skedde istället av röntgenläkare, som hade andra värderingar och beaktade andra faktorer än vad DHSS skulle gjort. Genom filantroper fick man också en koncentration till högstatussjukhus i de befolkningstäta regionerna. Man förstärker därmed de centraliseringstendenser som ligger inbyggda i en dyr högteknologi och ökar klasskillnaden mellan olika sjukhus.

När kroppstomografin kom var också amerikanska företag och den amerikanska marknaden ledande. Här fanns en starkt kommersiell sjukvård, där finansiella skäl spelade stor roll. Kapitalkostnaderna för datortomografen kan beräknas och slås ut per undersökt patient. Ju fler patienter som undersöks, ju snabbare återbetalning. Genom privatfinansierad sjukvård blev det en kamp om patienterna mellan olika sjukhus, och de med egen datortomograf hade sannolikt större möjlighet att dra till sig patienter. På samma sätt hade de fördel, då det gällde att dra till sig duktiga röntgenläkare och skapa forskningsstatus. Det blev en kamp mellan statuskliniker i att ligga främst på forskningsfronten. Genom USA:s dominans styrdes utvecklingsåtgärder härifrån och det skapades en policy för att förfina och utveckla tekniken ännu mer. Tankar om datortomografer för hjärtat med exponeringstider på tusentals sekunder och dynamiska bilder kom fram. Vi fick utvecklingssträvanden i teknologisk riktning och en applicering av tekniken på en mängd olika organ och inte en utveckling för ett lokalt plan.

Sammanfattning

Det som ligger i öppen dag är att man planterat in datortomografin i en väl fungerande röntgenorganisation. Röntgen är en stor internationell profession, som i början av 70-talet behövde Hounsfield och en ny teknik som datortomografi. Upptäckten av metoden kan förefalla banal om man betraktar den ur ett slags ren teknikutvecklingssynvinkel, men inom den röntgenologiska sfären är man praktisk och det spelar ingen roll om insatserna återgår på stora eller små upptäckter. Insatsen i form av datortomografi var behövlig och t o m nödvändig. Den blev det hjälpmedel som röntgenprofessionen behövde för att ta ny sats och därmed ytterligare utveckla specialiteten. Med en något djärv tolkning kanske man kan se datortomografen som det instrument som plötsligt gör röntgenläkaren till hjälte, när han med objektiva metoder och bilder kan identifiera cancertumörer och kanske t o m hjälpa till att döda cancer.

Varför uppvisar ultraljudet en så långsam utvecklingsprocess?

Den industriella tillämpningen

I fallbeskrivningen visas att ultraljudet historiskt går tillbaka till 1880-talet. En del grundforskning uppkom redan under 1900-talets första årtionde.

Titanic-katastrofen visade på behovet av ett medel att lokalisera främmande föremål med och första världskriget förstärkte mångfalt denna önskan genom att de tyska ubåtarna ställde till problem för England. Grundforskning som primärt syftade till att förstå reflekterande ljuds karaktär och hur man skulle kunna absorbera och mäta detta kom igång. Resultaten blev en markant ökad förståelse kring ett flertal problem, samtidigt som man insåg att rent tekniska utvecklingssteg var nödvändiga att ta innan man kunde få fram praktiskt fungerande tekniker. Den tillbakahållande faktorn var att elektroniken före andra världskriget stod på en alltför låg nivå för att medge en fortsatt utveckling av ultraljudstekniken. Stimulansfaktorn blev än en gång ett nytt krig. Radartekniken utvecklades mycket snabbt och behövde bl a avancerad pulsteknik, en av grundstenarna i ultraljudstekniken, och möjligheter att mäta små sändningstider. Ett praktiskt resultat blev oscilloskopet, ett viktigt instrument för att mäta och registrera korta elektriska signaler.

De första tillämpningarna av ultraljud kom inom den industriella sidan. Ett viktigt område var materialprovning. Sprickor kan inte ses med röntgen, medan däremot man får kraftiga reflektioner av ljud både vid normala frekvenser och med frekvenser som används vid ultraljud. Genom att sprickorna inte ställde alltför stora krav på höga frekvenser, en faktor som var svårt att uppnå i detta tidiga skede, kunde ultraljudet här få en första tillämpning. I utvecklingen av apparater för industriellt bruk var Firestone en av pionjärerna och utnyttjade de framsteg som gjorts inom radarteknik under andra världskriget. Sperry Rand tog upp ultraljud för industriellt bruk på sitt tillverkningsprogram. Det var utveckling inom elektronik som gjorde det möjligt att bygga och vidareutveckla apparaturen. Vid tiden för andra världskrigets slut användes inom elektronik vanliga rör och inte transistorer. Pulsteknik var som sagt framtagen och kort efter kom oscilloskopet. Med elektroniken på en i jämförelse med dagens standard, mycket låg nivå blev det naturligt att ultraljudet först tillämpades på sprickor i material, där man fick kraftiga ekon.

Studierna under 1950-talet avsåg några väl avgränsade organ, som med den relativt grova tekniken var möjliga att få bilder av. Buken blev fram till 1960-talet i det närmaste lämnad åt sidan. De få försök som gjordes misslyckades på grund av en mängd ljudreflektioner som inte gick att tyda. En förfining av tekniken blev en förutsättning. I hjärtat och hjärnan var det ett relativt fåtal väl avgränsade strukturer som var intressanta och som dessutom gav goda reflektioner. Det finns orgivande vätska och vid hjärtat de pulserande rörelserna som underlättade tolkning. Buken däremot gav ifrån sig en mängd reflektioner som först med hjälp av tvådimensionella tekniker var möjliga att tyda.

Samtliga dessa försök försiggick inom forskningssjukhus i samarbete med tekniker. Man hade här att göra med en alldeles ny teknik inom medicinen och som krävde lång utvecklings- och inlärningsstid för att kunna användas. Läkarna var vana vid att se kroppen med röntgens ögon och måste därför under lång tid lära sig att känna igen olika organ på ett nytt sätt. Här hade han relativt lite hjälp av sina gamla röntgenologiska kunskaper. Samtidigt krävdes intimt samarbete med tekniker för att över huvud taget kunna utnyttja ultraljudstekniken. Man får komma ihåg att långt in på 1960-talet var det i huvudsak apparater för industriellt bruk som användes, vilka egentligen föga lämpade sig för att diagnostisera små vävnadsstrukturer i människokroppen.

Ultraljudet blir ett viktigt instrument för hjärtdiagnostik

Ultraljud kom att utvecklas för hjärtat som ett av de första tillämpningsområdena. Efter andra världskriget hade hjärtkirurgin utvecklats så att det blev möjligt att operera medfödda hjärtfel. För en väl genomförd operation var det nödvändigt att ha tillgång till en säker diagnos i förväg. De befintliga metoderna hjärtangiografi och hjärkateterisering var tidsödande och behäftade med viss risk. Dessutom fick man med angiografi endast en bild av högra kammaren, medan man ännu inte vågat gå in i den vänstra. Edler, som sysslade med diagnosarbetet, fann det otillfredsställande att inte kunna ge kirurgen en bättre bild av hjärtat. Till historien hör att man vid denna tidpunkt också börjat operera förträngningar i hjärtats klaffar. Man kunde med gängse diagnosmetoder inte avgöra om denna förträngning var kombinerad med det förhållandet att blod gick tillbaka från vänster kammare till vänster förmak. I så fall förvärrades denna tillbakaströmning av ett ingrepp. Vid enbart förträngning kunde man emellertid med framgång vidga öppningen mellan förmak och kammare.

Detta förhållande blev den viktigaste drivkraften för Edler att söka efter alternativa diagnosinstrument. Att han fann ultraljud till slut var en lycklig kombination av hans personliga intresse av radarteknik och att han fick kontakt med Hellmuth Hertz, som kunde vägleda arbetet i riktning mot ultraljudet. Dessa två personer kombinerade alltså tekniskt intresse och erfarenheter med rent medicinska drivkrafter att söka efter en ny teknik. Hela deras fortsatta verksamhet präglas av två nyfikna fanatiker som drivs fram av en tro på en ny tekniks användning inom ett oprövat område. Deras arbete har grundforskningskaraktär, där det först gäller att undersöka om tekniken över huvud taget fungerar. Några speciella apparater finns naturligtvis inte utan man får utnyttja personliga kontakter för att få låna en ultraljudsapparat avsedd för industribruk. Det hela drivs i form av hobbyverksamhet och det finns inga möjligheter att få stöd från vare sig sjukhuset där Edler arbetade eller universitetet där Hertz var verksam. Till en början måste de helt enkelt försöka tyda de ekosignaler som registreras på ett oscilloskop. Dessa har ingen tidigare sett och omfattande och tidsödande försök med uppskurna hjärtan måste till. Successivt lär de sig under arbetets gång att tyda fler och fler av hjärtats strukturer, samtidigt som försöken ger konkreta idéer om hur apparaturen skall förändras för att ge bättre mottagning. Arbetet har alltså lite grand karaktär av att lära sig anatomin ur ett nytt perspektiv. Först när man lärt sig en del om hjärtats reflektioner, blev det dags att göra motsvarande undersökningar på patienter för att få verkliga bevis på att reflektionerna motsvarade de strukturer man antog.

Hertz och Edler arbetade under hela 1950-talet utan några egentliga forskningsanslag och var därmed tvungna till att hålla försöken inom ett begränsat område. De hade ytterligt små resurser att flytta experimenten till andra områden eller att utveckla tekniken t ex mot tvådimensionella bilder. Hertz experimenterade i begränsad omfattning med tvådimensionell teknik under slutet av 1950-talet. Emellertid koncentrerades försöken till en dimension, en faktor som senare bidrog till att man i Sverige sent började använda tvådimensionell teknik.

Däremot väckte Hertz' och Edlers forskning intresse hos läkare som sysslade med fosterdiagnostik och hos neurokirurger, två områden som likt hjärtkirurgi var otillfredsställda med de befintliga diagnostikerna. Vid undersökning av gravida kvinnor var man tvungen till en restriktiv inställning till röntgen och neurokirurgen å sin sida hade i huvudsak två besvärliga och riskfyllda undersökningar i luftskalle och angiografi.

Det fanns därmed drivkrafter för dem att intressera sig för de försök som bedrevs på hjärtsidan med ultraljud. Konkret började Leksell på neurokirurgen att pröva ultraljudet vid slag mot huvudet och fick vid första försöket uppmuntrande resultat. Han kunde hitta en blödning i hjärnan på en flicka och vid operation fastställa att den var belägen precis på det ställe som ultraljudet pekat ut. Undersökning av skallen tog en snabb utveckling och gick till en början snabbare än för hjärtat. Det fanns en lättare frågeställning att arbeta efter. "Finns en blödning eller inte?" Samtidigt visade det sig snabbt att tekniken hade betydande begränsningar genom att skallbenet var i vägen, vilket ultraljudet svårligen kunde tränga igenom.

Till fosterdiagnostik prövades också Hertz' och Edlers utrustning, men den gav inga positiva resultat. Efter besök i Skottland hos Ian Donald som byggt en

tvådimensionell ultraljudsapparat, blev man övertygad om teknikens potential även inom fosterdiagnostik och en apparat kom till Lund 1961. Även här fanns förutsättningar för relativt snabba resultat. Ultraljud reflekteras ju utmärkt vid gränsskikt mellan vätska och vävnad, en faktor som stämmer väl med fostrets läge i fostervattnet.

Utvecklingen går över till USA

När vi kommer in i 1960-talet sker en betydande del av utvecklingen kring ultraljud i USA. Med tekniska framsteg inom elektronik och genom ett stort antal forskargrupper som började utnyttja ultraljud i diagnosarbetet växte kunskaperna och de praktiska möjligheterna att utnyttja tekniken. I Sverige blev utvecklingen efter i huvudsak därför att det egentligen inte uppstod någon forskning utanför gruppen Edler-Hertz. De gjorde ingen reklam för sin forskning. En viktigare faktor var dock att med mer avancerad teknik blev det omöjligt att driva forskningen som en fritidssysselsättning. För att komma vidare ställdes krav på ekonomiska och andra resurser som två enskilda forskare inte kunde uppbära. De gjorde ett par begränsade försök att få anslag men fick ingen respons.

I USA var bilden en helt annan. Genom att medicinerna nu kunde visa på kliniska resultat och att tekniken stod på en nivå som gjorde det praktiskt att i någon planerad form starta tillverkning, började industrin att intressera sig för att anpassa ultraljudsapparater för industribruk till speciella krav från den medicinsk-diagnostiska sidan. En bidragande faktor var att transistorerna nu kommit fram och kunde göra utrustningen mindre, billigare och mera tillförlitlig.

Två amerikanska företag som började tillverkning var Sperry-Rand och läkemedelsföretaget Smith-Cline. Sperry-Rand tillverkade ultraljud för vanlig materialprovning och såg en möjlighet att bygga upp en medicinsk enhet. Företaget kom in i branschen genom kontakter med en hjärtläkare, Joyner, som forskat kring ultraljudets möjligheter för hjärtat i samarbete med teknikern Read. Picker, ett stort röntgenföretag, etablerade sig genom att köpa upp ett litet företag startat av en grupp forskare kring Howry och Holmes.

Ultraljudstekniken hade i mitten av 1960-talet kommit så långt att förutseende personer kunde se en positiv framtid för dess medicinska tillämpning. Genom tidigare försök med tvådimensionell teknik i USA blev också buken ett stort potentiellt område. Man började få bilder som inte bara bestod av oförståeliga kurvor utan där man kunde urskilja något organ. I spridningen av ultraljud och för att intressera en större medicinsk krets spelade hjärtläkaren Feigenbaum en mycket stor roll. Han startade formella kurser och lärde ut tekniken eller snarare förmågan att diagnostisera hjärtat med ultraljud. Han bidrog till att öka efterfrågan på ultraljud, vilket i sin tur ökade intresset hos industrin.

Att det inte uppstod någon egentlig industri kring ultraljud i Sverige kan delvis förklaras med att Hertz och Edler inte aktivt arbetade för att intressera något svenskt företag. Istället vände Hertz sig till Siemens, varifrån han lånat sin första apparat, och där han dessutom hade personliga kontakter. Siemens hade också erfarenheter från industriellt ultraljud, som var en viktig startpunkt. Under ett år arbetade han också som ett slags besökande forskare hos Siemens för att hjälpa upp starten av ultraljudstillverkning för hjärtat. Dessutom fick vi

aldrig i Sverige någon forskning kring ultraljud för buken och den två-dimensionella bilden, ett område som starkt bidrog till en snabb utveckling under 1960-talet, men framför allt under 1970-talet. Därmed kom tekniken att få en liten spridning och blev inte intressant för industrin att satsa på.

För flertalet utländska bukkirurger var ultraljudet en intressant möjlighet. Många av de viktiga organen, t ex lever, bukspottskörtel och njurarna kunde man framgångsrikt studera endast med avancerad form av angiografi. I USA, Danmark och många andra länder fanns ingen stark angiografisk tradition och metoden hade heller inte utvecklats till den höga nivå som var fallet i Sverige. Ända sedan slutet av 1940-talet ansågs svenska radiologer ligga främst i världen just i angiografiska undersökningar för bukorgan. Röntgen erbjöd därmed en diagnos till kirurgerna som låg på en hög klass och höll därmed tillbaka eventuella tankar om att utveckla ultraljudet för buken. Den svenske kirurgen hade över huvud taget i radiologen en bundsförvant som man anförtrorde en viktig bit i diagnosarbetet.

För t ex amerikanska och danska kirurger uppstod däremot intresse för ultraljud. I Danmark tog det konkret uttryck hos urologen Hans-Henrik Holm som startade ett forskningssamarbete med ett institut som använde ultraljud för att mäta fetthalt hos grisar. I det samarbetet, som övergick till företaget Brüel & Kjaer fr o m 1972, utvecklade Holm ultraljud för vissa bukorgan till en mycket hög standard, med bl a en avancerad form för punktionsundersökning i kombination med ultraljud.

I takt med att ultraljudet spreds till allt fler tillämpningsområden och med en mycket snabb utveckling av elektronik under främst 1970-talet, då integrerade kretsar kom fram, gick allt fler företag in i den framväxande branschen. Nu fanns verkliga bevis för dess höga tillväxtpotential med en teknisk standard som ökade intresset från klinikerna. Med först gråskaleteknik och sedan dynamiska bilder tog ultraljudet ny fart. Stora röntgenföretag, som GE och Philips, började intressera sig för tekniken samtidigt som ett flertal företag med anknytning till elektronik startade egen verksamhet. Det växte också fram ett flertal små företag som försökte hitta ett delområde inom ultraljud som de kunde penetrera. Det tidigare nämnda företaget Brüel & Kjaer specialiserade sig nästan enbart på ultraljud för buken och då främst i kombination med punktion. Åter andra inriktar sig på fosterdiagnostik. I början av 1980-talet fanns i hela världen mer än 35 tillverkare av medicinskt ultraljud. Branschen var fortfarande under tillväxt och gav utrymme för både små och stora tillverkare. Investeringarna har hittills varit begränsade och genom den till för 3-4 år sedan relativt långsamma tillväxten har det funnits tid att bygga upp marknader utan alltför stora och koncentrerade satsningar.

Den stora förändringen i branschen tycks ha inletts när ultraljudet blev intressant för röntgenprofessionen. Det innebar att flera stora röntgenföretag sökte sig in på marknaden, ofta via uppköp av mindre ultraljudsföretag.

Ultraljudets spridning en långsam process

I historien kring ultraljudet ser vi en teknik som tar lång tid på sig för att utvecklas och spridas. Redan innan sekelskiftet startar forskningsarbete och inte förrän in på 1970-talet börjar ultraljudet bli en etablerad teknik. En intressant fråga är varför det tar så lång tid för ultraljudet att utvecklas medan

andra tekniker som datortomografi kan mogna ut på 5 år. För att få klarhet i denna fråga kan man titta på den tekniska såväl som på den organisatoriska nivån.

När vi talar om ultraljud har vi att göra med ett fenomen som kräver avancerade tekniska hjälpmedel för att praktiskt kunna utnyttjas. Att sända ut ljud med tillräckligt hög frekvens kräver tillgång till pulsteknik, som inte fanns förrän vid mitten av nuvarande sekel. För att kunna ta emot de reflektioner som olika källor ger ifrån sig krävs också avancerad teknisk hjälp och för att sedan finna ett sätt att registrera de mottagna ljudvågorna krävs åter elektroniska hjälpmedel. Utan nya pådrivande bastekniker som transistorer och senare integrerade kretsar hade ultraljudet inte kunnat utvecklas till dagens standard. En modern ultraljudsapparat består egentligen av en mängd elektroniska delar och längst ut en sändare av kristall eller annat ämne. Det är ingen tillfällighet att elektronikföretag börjat tillverka ultraljudsapparater, deras produktionssystem passar väl in för ultraljudet.

För framgång krävdes således ett forskningsarbete av mycket stor omfattning för att få fram de "hjälp tekniker" som gjorde ultraljudet för medicinskt bruk till en praktisk verklighet. Till detta kommer för medicinaren att tillägna sig en teknik som till en början står på en låg nivå och är mycket svår att använda sig av. Det krävs stark tilltro och uthållighet för att inte "tröttna". Dessutom är det inte enbart en fråga om att lära sig en ny teknik. Ultraljudet ställer krav på användaren att utveckla en ny del av medicinen. Detta görs också i en tid då många medicinska områden redan har väl utvecklade diagnostik tekniker, som sedan länge ingår rutinmässigt i arbetet. Kring dessa har en forskning och utbildningsverksamhet uppstått. De lärs ut och sprider sig mycket snabbt till yngre kollegor. En ny teknik måste kämpa mot de etablerade teknikerna i sina försök att slå sig in. Man får status och tjänster genom att vidareutveckla de gängse områdena, där också den äldre professionen bidrar med handledning och stöd. Att forska inom ett helt nytt område innebär ofta en utmaning mot gängse normer och det är också svårt att få direkt ekonomiskt stöd.

Ultraljudet var i starkt behov av de första trevande framgångarna som kom i samband med hjärt- och fosterdiagnostik och det blev helt naturligt att den vidare forskningen koncentrerades till dessa områden. Historien visar på betydelsen av "eldsjälar" som tar hand om tekniken i det tidigare skedet. Dessa fanns utspridda inom ett flertal självständiga medicinska enheter som naturligtvis var intresserade av ultraljudets potential för det egna området. Det blev därmed mindre utrymme för samarbete över gränserna mellan olika specialiteter. Inom den medicinska sfären finns också en outtalad regel att inte gå in på andras områden. Det fanns således för ultraljudet ingen organisatorisk enhet, varken diagnostisk eller klinisk, som kunde ta emot tekniken och fungera som ett slags centralt organ. Mottagarna blev istället ett antal utspridda kliniker och inom dessa enstaka personer som var speciellt otillfredsställda med någon viss diagnostikens begränsade möjligheter. Några formella organ eller mekanismer med vilka man kan sprida information om en sådan här ny "outsider teknik" finns inte heller, utan istället sker detta via informella kanaler, företrädesvis över lunchbordet.

Genom dessa förhållanden kan ultraljudet utvecklas i det tysta, där olika tekniker tas fram för olika användningsområden. Först i ett relativt sent skede, när kliniska resultat börjar mångfaldigas och standarden höjts till en "accep-

tabel" nivå börjar intresse eller kanske hos vissa en fruktan för den nya tekniken uppstå. Konkret har vi sett denna utveckling för ultraljudet under andra hälften av 70-talet. Röntgendisciplinen, som fram till dess i stort sett totalt ignorerat ultraljudet, börjar då föra fram tankar om att ultraljudet, som ju är en diagnosteknik skall höra till röntgen, den naturliga och centrala diagnosenheten inom sjukhuset.

Ultraljudet är nu så välutvecklat att röntgenläkaren ser dess potential. Med gråskaleteknik och dynamiska möjligheter börjar ultraljudet ge bilder med en kvalitet som röntgen kan acceptera. Dessutom ställer rörlig teknik inte lika höga krav på den tekniska färdigheten hos undersökaren. Med nya automatiska system blir den tvådimensionella tekniken inte den nästan konstnärliga utmaning som den tidigare varit.

Förut har det inte funnits någon anledning för röntgen att intressera sig för ultraljud, en svårtydd teknik som dessutom gav låg kvalitet på bilderna. Själva hade radiologerna flera välutvecklade tekniker, som buköversikt, ofta i kombination med kontrast, och i Sverige kungstekniken angiografi, som utvecklats till ett förnämligt instrument vid diagnostisering av flertalet organ. Det var också kring dessa metoder som övervägande delen forskningsarbete var koncentrerat och som ledande röntgenföretag ytterligare förfinade tekniken. För att en ny teknik skall ha framgång i denna miljö krävs att den är välutvecklad och redan lyckats visa resultat. Detta var förhållandet för ultraljudet mot slutet av 1970-talet. Då såg röntgen t o m att det fanns vissa tendenser till att ultraljudet tog över diagnosarbete som tidigare legat på röntgen.

I denna situation startar en i vissa länder livlig diskussion om var ultraljud organisatoriskt skall placeras. Röntgen hävdar att för ekonomi i verksamheten bör det läggas på röntgen medan de kliniska disciplinerna för fram att ultraljud är ett helt annat slags diagnosteknik som inte alls passar på röntgen. Tvärtom arbetar flertalet kliniker på att ultraljuddiagnostiken skall erkännas som en särskild specialitet och att en formaliserad utbildning införs. Utfallet av denna diskussion är svår att förutse och beroende av den speciella situationen i olika länder och kanske t o m på det enskilda sjukhuset. I Sverige där bukdiagnostik av tradition nästan helt sköts av röntgen, som dessutom först tagit upp ultraljudet för buken, pekar allt på att det kommer att bli kvar där och skötas av radiologer. För andra länder är det svårare att göra en bedömning. I Danmark har Holm i viss mån skapat en tradition kring att lägga ultraljudet inom kirurgin. Han strävar dessutom efter att avskilja verksamheten till en egen specialitet med egen specialutbildning. I USA finns nu exempel på särskilda diagnostiska centra som tagit hand om alla de tre teknikerna röntgen, ultraljud och nuclear medicin. Det är läkare med olika specialitet som svarar för respektive teknik.

För de "äldre" områdena hjärt- och fosterdiagnostik har omfattningen på antalet undersökningar och kraven på specialkunskaper kommit så långt att det tycks vara svårt för röntgen att helt överta denna verksamhet, som kommer att utvecklas till specialiteter inom den egna disciplinen eller där en central apparat, placerad på röntgen, för gemensam användning kan bli resultatet.

DEL VI. ANALYS I ETT ORGANISATIONS- OCH BRANSCHTEORETISKT PERSPEKTIV

I del V besvarade vi utifrån ett renodlat aktörsperspektiv de frågor, presenterade i kapitel 1, som utgör det övergripande syftet att förstå den subjektiva logiken bakom olika aktörers handlande.

I denna sjätte och sista del presenteras några teoretiska begrepp med vilka de övergripande frågorna kan förstås på ett mera generellt plan.

I kapitel 24 poängterar vi, utifrån datortomografin och ultraljudet, vikten av att skilja mellan olika slags teknologier och mellan olika forsknings- och utvecklingsmiljöer.

De båda teknologierna sätts in i ett branschutvecklingsperspektiv i kapitel 25.

Datortomografins snabba förankring inom den medicinska professionen diskuteras i kapitel 26 utifrån den organisationsteoretiska referensram som väglett arbetet.

24. OLIKA TEKNOLOGIER OCH DERAS UTVECKLINGSMILJÖ

I detta kapitel skall vi med utgångspunkt i några observerade skillnader mellan datortomografin och ultraljudets utveckling diskutera olika slags teknologier och mera explicit peka på vilka olika krav på utvecklingsmiljöer de ställer. Utifrån denna begreppsutveckling skall vi diskutera EMI och röntgenföretagens agerande under datortomografins utvecklingsförlopp och i viss mån ultraljudet.

En ny teknologi – inget enhetligt begrepp

Vid en jämförelse mellan datortomografi och ultraljud framträder ett flertal skillnader.

- o Datortomografin fick ett kraftfullt genomslag direkt efter offentliggörandet och hade en kort utvecklingsperiod (5-6 år), medan ultraljudet utvecklades i skymundan inom några väl avgränsade områden och under betydligt längre tid (20 år). Utvecklingen av datortomografin skedde inom en etablerad organisation med mycket snabbt formellt stöd av offentliga organ. För ultraljud spelade fristående forskare under lång tid en avgörande roll och det uppstod nya företag som ett direkt resultat.
- o Den historiska utvecklingen av datortomografin är relativt lätt att följa, med i huvudsak start i en organisation och hos en person. Ultraljudet är svårare att följa då det präglas av många olika och samtida försök. Arbetet med datortomografi bestod till stor del av att kombinera kända tekniker, medan ultraljudet krävde grundläggande experimentarbete och utveckling av nya hjälptekniker.
- o Datortomografin kom in i en miljö (röntgen) som direkt tog emot den och genom sin centrala roll inom diagnostiken snabbt "spred" ut den till ett flertal tillämpningsområden. För ultraljud fanns ingen naturlig spridningsorganisation utan den tillämpades länge enbart i de miljöer där det utvecklats och främst av några enskilda läkare.
- o Datortomografin är i huvudsak koncentrerad till stora, ofta, undervisningssjukhus. Ultraljudet har en mera spridd användning och stor potential även på mindre sjukhus.
- o Svensk röntgentradition med angiografin som viktigt inslag har varit tillbakahållande för ultraljudet. I USA, Danmark, etc med en relativt svagare angiografitradition fanns tidigare drivkrafter att utveckla ultraljudet, inte minst inom bukdiagnostik.
- o Datortomografin är relativt lättare för röntgenläkaren att lära sig hantera. Ultraljudet är svårare att tillämpa och kräver speciellt handlag. Det är svårare att överföra en ultraljudsundersökning på röntgenassistenterna.
- o Den svenska röntgenprofessionen har hög status. Historiskt har det funnits en vana att bevilja anslag till dyr röntgenutrustning. Ultraljudet applicerades länge inom discipliner med traditionellt billigare tekniker. De har därmed svårare att få medel till dyr teknik.

- o Den snabba utvecklingen, både tekniskt och marknadsmässigt, har med all sannolikhet stagnerat för datortomografin. Tekniska förbättringar präglas mer av förfiningar och det finns tecken på att röntgenprofessionen delvis är mera intresserad av att utveckla andra diagnostekniker, såsom de som bygger på magnetiska tekniker. Ultraljudet har fortfarande betydande potential för tekniska förbättringar, såsom rörliga bildsystem och kombinationen med punktionsundersökningar.
- o Det är uppenbart att det utvecklats en särskild bransch för medicinskt ultraljud, med ett flertal nya företag som följd. Däremot finns knappast fog för att betrakta datortomografi som en särskild bransch. Den har snarare enbart medfört förändringar i en redan etablerad röntgenbransch.

Några klassificeringar av innovationer

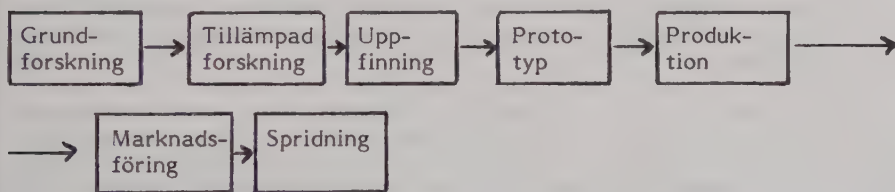
Det finns många olika försök att klassificera uppfinningar och innovationer. Med uppfinning brukar anses själva idén till en nya produkt eller process. Med innovation denna idé/uppfinnings förankring i en produkt eller process som tas till marknaden för första gången (på engelska skiljs mellan invention och innovation). Med innovation brukar också avses hela processen från idé till att produkten tas till marknaden. Mansfield (1968 a och b) definierar uppfinning som en beskrivning till en ny produkt eller process som inte var uppenbar för personer verksamma inom det område som produkten eller processen utvecklas inom. Wood (1975) ställer krav på att en ny produkt för att klassificeras som innovation måste ha kunnat marknadsföras framgångsrikt. Schon (1967) skiljer mellan innovations- och diffusionsprocessen. Den senare ses som spridningen av en innovation utanför den första användningen. Vedin (1980) klassificerar en innovationsprocess som stadiet från idé till marknadsintroduktion. Han betraktar en radikal innovation som en sådan som lägger till betydande dimensioner till en produkt och som har potential att få inflytande på och eventuellt förändra ett företags framtida strategiska utveckling. Mensch (1979) skiljer mellan basinnovationer, förbättringsinnovationer och pseudoinnovationer. Basinnovationer är sådana som skapar nya marknader och branscher. Förbättringsinnovationer innebär fortsatt utveckling av etablerade aktiviteter och bygger på att en basinnovation redan etablerats. Pseudoinnovationer är förfiningar av marginell betydelse av existerande produkter och processer sett ur ett övergripande samhällsperspektiv. Utterback (i Hill & Utterback 1979) skiljer mellan produkt- och processinnovationer och mellan innovationer som kräver omfattande förändringar i den innoverande organisationen respektive sådana innovationer som bara kräver små förändringar. Produktinnovationer ligger också tidigare i utvecklingscykeln än processinnovationer. Porter (1980) skiljer mellan produkt-, marknads- och processinnovationer. Basil & Cook (1974) diskuterar teknologiska innovationer ur ett bredare samhällsperspektiv utifrån vilka förändringar teknologin har på organisationer, institutioner och samhälle. De skiljer mellan primär, sekundär och tertiär typ av inverkan. Primär innovation är betydande uppfinningar och upptäckter med potential att omvända hela samhällen och institutioner. Sekundär innovation är innovativa genombrott inom ramen för existerande uppfinningar, som förändrar människors livskvalitet. Tertiär innovation är förfiningar och variationer med begränsad förändringspotential. Basil & Cook (1974) påpekar att en tertiär innovation i och för sig kan medföra stor osäkerhet för de/den organisation som utvecklar den. Andersson et al (1982) skiljer mellan system- och komponentinnovationer respektive låg- och högteknologier. Komponentinnovationer innebär utveckling

av komponenter inom ramen för existerande system. De har därför lättare att accepteras av det etablerade systemet. Systeminnovationer konkurrerar eller hotar däremot ofta etablerade system och har potential att förändra en hel bransch. Normann (1975) diskuterar variations- respektive omorienterande förändringar för den innovande organisationen, medan Argyris & Schön (1978) skiljer mellan "single respektive double loop learning", där de senare formerna ställer krav på maktomfördelning och förändring av värde- och normsystem för att de skall kunna genomföras.

Några av definitionerna tar utgångspunkt i den innovande organisationen och vilka förändringar som innovationen ställer krav på respektive medför (t ex Mansfield 1968, Vedin 1980 och Andersson et al 1982). Andra definitioner bygger på ett bredare samhällsperspektiv och på vilka förändringar som innovationen medför för samhället i stort oavsett vad den innebär för den innovande organisationen (t ex Mensch 1979 och Basil & Cook 1974). De förra definitionerna har ofta ett mera affärs- och företagsledningsorienterat perspektiv, medan de senare försöker förstå teknologiska förändringar för samhället i stort.

Det finns naturligtvis inga rätta eller felaktiga definitioner, enbart mer eller mindre lämpliga utifrån ett visst perspektiv och syfte.

Flera klassificeringar bygger också på ett synsätt där innovationsprocesser är sekvensiella, med start i en basinnovation, som får en tillämpning och i sin tur utvecklas, marknadsförs och sprids successivt. (Se fig 1.)



Figur 1: Innovationskedjemodellen

En alternativ klassificering

I studien av datortomografi och ultraljud har vi inte kunnat urskilja någon sådan kedjeformad innovationsprocess. Istället skedde grund- och tillämpad forskning, såväl som tekniskt utvecklingsarbete och marknadsbearbetning, i en komplex process. Den snabbaste utvecklingen av datortomografin och ultraljudet skedde i de stadier då teknikerna fått konkreta tillämpningar. Naturligtvis skedde de första utvecklingsstegen i forsknings- och utvecklingsmiljöer, men vid mitten av 1970-talet, när kroppstomografin blivit en realitet, ställdes stora krav på tekniskt utvecklingsarbete såväl som marknadsbearbetning och organisationsuppbyggnad i de företag som ville bli framgångsrika. På samma sätt genomgick ultraljudet under 1970-talets senare hälft en snabb även teknisk utveckling, inte minst i samspel med nya landvinningar inom elektroniken.

För att förstå datortomografin och ultraljudets skilda utvecklingsförlopp har vi funnit det vara mera fruktbart att se på deras respektive karaktär ur perspektivet: vilken/vilka tillämpningar tekniken får på marknaden och vad som krävs för att den skall kunna tillämpas där. Det är naturligt att se datortomografin som en **applikationsteknologi** där man kombinerat ett antal olika teknologier, i detta fall röntgen och datorer, och med ett välutvecklat applikationsområde som mottagare. Ultraljudet däremot är en **generell teknologi** med i sig ett flertal applikationsområden, både inom den industriella och medicinska sektorn. Datortomografin är en applikation av röntgen, angiografi och bukundersökningar två andra. Det finns också ett flertal applikationer av röntgen inom den industriella sidan bl a för materialundersökning. Ultraljud har på samma sätt applikationer inom medicinen både som diagnostiskt och terapeutiskt instrument och inom industrin för materialundersökning.

För att få en likvärdig bedömning av utvecklingsförloppen är det snarare några av de tekniska systemen för medicinskt ultraljud som skall jämföras med datortomografin än ultraljudet i dess form av generell teknologi. För att få en jämförelse på en generell nivå är det istället röntgen och ultraljud som skall jämföras. Detta kan ge en förklaring till en ofta framförd fråga (1) om varför inte ultraljudet utvecklats snabbare. Den har ju dock 25 år på nacken, medan datortomografin under 5-10 år nådde en mycket hög teknisk nivå. Det är i själva verket en snart 100-årig generell teknik som ställs i relation till en 25-årig sådan. Därmed är också sannolikt utvecklingspotentialen för medicinskt ultraljud mycket större än för datortomografi, vilket också verifieras av verkligheten. En intressant skillnad i synsätten på datortomografi och ultraljud är att man inte klart skiljer på ekolod och ultraljud, medan man däremot inte blandar samman datortomografin med en vanlig röntgenapparat. Denna skillnad pekar just på att man ser ultraljudet som en generell teknologi medan datortomografi är en applikation av röntgen.

Separatorn är en annan generell teknologi som fått olika applikationsområden. Nya tillämpningar ställde krav på en teknologi där komplicerade sammanhang ingick, t ex inom stärkelse och vissa kemiområden. Kunskaper om olika processer där separatoren kunde ingå blev mycket väsentlig för teknikens tillämpning. Alfa Laval, som utvecklat separatoren, fick successivt öka sitt kunnande om processer och helhetslösningar där separatoren kunde tillämpas. Genom de olika applikationsområdena har Alfa Laval kompletterat separerings-teknologin med membranteknologin. Genom växt har företaget kommit i kontakt med nya typer av kompetens, som utnyttjats och byggts in i organisationen. Alfa-Laval har i sin separeringsverksamhet hittat ett stort antal applikationsområden, stor uppsättning teknologier och processkunnande. Separatoren används idag i en mängd livsmedelsprocesser vilket gjort en kontinuerlig produktion möjlig. (2)

Det löpande bandet kan ses som en annan generell teknologi som applicerats inom ett stort antal produktionsprocesser inom så skilda områden som textil-, livsmedels- och bilindustri.

Laserteknik kan ses som ytterligare en generell teknologi, som sedan 1960-talet fått en mängd olika applikationer. Inom transportområdet används den till laserradar, som höjdmätare för flyget, som gyroscop; inom informationsbehandling och kommunikation används laserminnen, fotografisk registrering med laser, bildskärmar med laser. Inom militärteknik används den för avståndsmät-

ning och målbelysning. Andra tillämpningar är för materialbearbetning och precisionsmätning och inom medicinen för operation av fina kärl, t ex av ögat. (3)

Bioteknik är en annan generell teknologi, som befinner sig på utvecklingsstadiet. Först under de senaste 3-4 åren har ett större antal företag uppmärksammat bioteknikens framtida potential inom kemi-, läkemedels- och jordbruksområdena. Bioteknik anses ha potential att totalt slå ut många nuvarande kemiska processer, användas för kontroll av miljögifter, vid livsmedelstillverkning, etc. (4) (5)

Distinktionen mellan generell- och applikationsteknologier har likheter med distinktionen mellan bas- och tillämpad teknologi. De senare begreppen domineras emellertid av en naturvetenskaplig/teknisk syn. Centralt är vilka kreativa tekniska insatser som krävs för att få tekniken att fungera. Däremot spelar hur tekniken kommer att fungera i sin tillämpning och vilken roll den kommer att ha i företagets allmänna affärsidéuppsättning mindre roll. Distinktionen generell - applikation är mer sedd ur perspektivet av vilka tillämpningar på en marknad som teknologin har och huruvida det finns ett socio-tekniskt system utvecklat för tekniken eller om det måste byggas upp.

Begreppet basteknologi bygger på ett synsätt där den är en tillämpning av vetenskaplig kunskap, t ex fenomen som förståelse av elektroner, laser- och genkunskap som förankras i elektronik, laserteknik, bioteknik.

Begreppen basteknologi och generell teknologi har likheter men också skillnader. Elektronik, bioteknik och laserteknik kan alla ses både som basteknologier och generella teknologier. Däremot är det svårare att betrakta t ex det löpande bandet och separeringsteknologi som basteknologier med gängse definition. Däremot kan de betraktas som generella teknologier i den bemärkelsen att de har en mängd olika applikationsmöjligheter. Samtidigt fanns det till en början inte några välutvecklade applikationsområden att sätta in dem i.

Man måste också skilja mellan generella och applikationsteknologier å den ena sidan respektive hög och låg uppfinningshöjd å den andra. Datortomografin hade i sig en hög uppfinningshöjd. Det krävdes ett starkt inslag av kreativt tankearbete såväl som avancerad matematik och tekniskt konstruktionsarbete för att få tekniken att fungera. Att en teknologi är av applikationskaraktär är inte lika med att den skulle vara lätt för etablerad industri att utveckla från idéstadiet. Däremot är det ofta lätt att ta över den i de stadier när det handlar om marknadsföring och produktion för ett etablerat applikationsområde. Hög uppfinningshöjd kan däremot förklara varför inte röntgenföretagen utvecklade datortomografin från idéstadiet. Datortomografin var ingen kombination av etablerad tomografiteknik och datorer. Tomografi av den gamla typen är av en helt annan karaktär och företag som utvecklade tomografiteknik hade ingen fördel i denna i att kunna ta fram datortomografin. Snarare tvärtom hade de svårigheter att tänka i nya banor. Inom datortomografi handlade det om att utveckla ett helt nytt koncept med kristalldetektorer och digital informationsbehandling i datorer istället för registrering på röntgenfilm. Uppfinningshöjden på datortomografin är således mycket hög. Det är inte så att en applikationsteknologi av naturen skulle ha låg uppfinningshöjd.

EMI som utvecklare av generella teknologier

Distinktionen mellan generell och applikationsteknologi kan användas för att öka förståelsen av EMI:s respektive etablerade röntgenföretags agerande.

EMI uppvisade en historia där just utveckling av generella teknologier varit ledande. Ända sedan 1930-talet, då den centrala forsknings- och utvecklings-enheten bildades, bidrog företaget till betydande pionjärbete inom elektronik-området, såsom TV-, radar-, och datorsystem. Samtidigt kom endast en starkt begränsad egen produktion av dessa system igång. Istället fungerade EMI framgångsrikt som sammanlänkare av olika teknologier och applikations-områden. Till betydande del levde utvecklingsenheten på kontraktforskning, både för försvaret och andra företag. För EMI var inte applikationerna ledande utan snarare tekniska frågor kring elektronik. I det konkreta arbetet med datortomografi gällde det att utveckla en idé kring mönsteridentifikation med hjälp av datorer. EMI såg inte betydelsen av tex rationella kassetter i röntgenhanteringen eller effektivare undersökningsbord, vilket istället var områden som röntgenföretagen inriktade sig på.

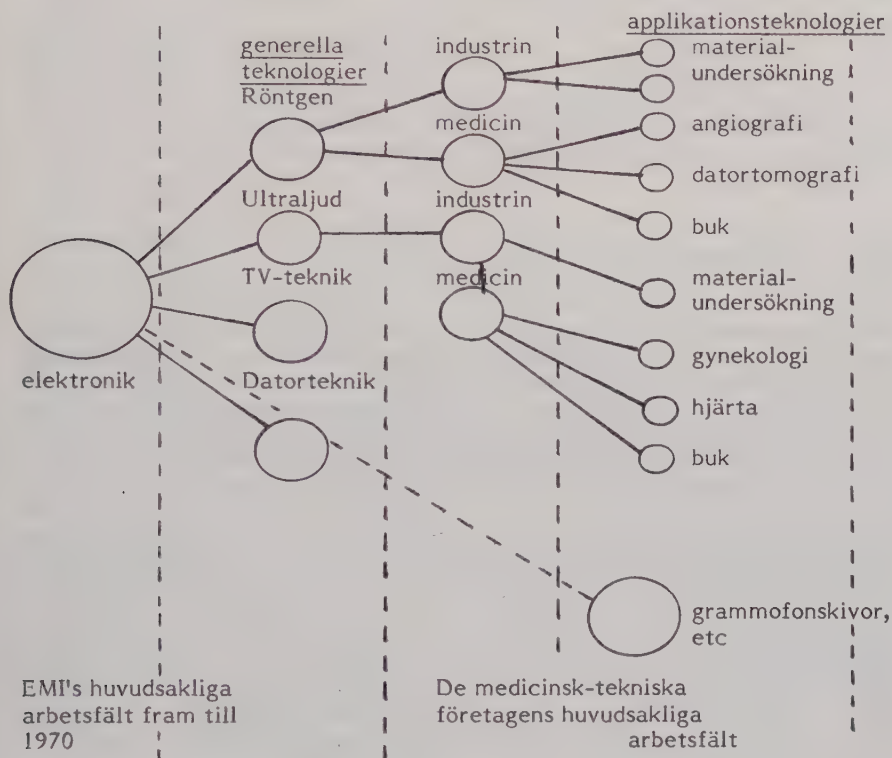
Egentligen var satsningen på att utveckla datortomografin en felsatsning, då den till en början krävde stora centrala datorer som gjort den till en praktisk omöjlighet i vardagsarbetet inom röntgen. Det är knappast någon gåta varför Philips eller General Electric inte tog fram datortomografin. Mini- och senare mikrodatorer och i sin tur mikroelektroniken kom att bli räddningen för EMI och datortomografin, en faktor som EMI inte kunnat förutse. Det är som Frankensteins monster som blir mänsklig när han söker kärlek. För datortomografin är kärleken mikrodatorns utveckling. Denna beskriver också skillnaden mellan tekniska vågor och applikationsutveckling. Det finns generella innovationer såsom mikroelektroniken, som har en oerhörd slagkraft inom stora delar av teknologisk utveckling och som i kombination med andra tekniker får ett stort antal applikationer. De fungerar som ett slags metateknologier enligt Schon's terminologi. Toffler (1981) ser till och med elektronik och bioteknik som två av de fyra teknologier som kommer att radikalt förändra samhällssystemet och bli leda till en "avmassifiering" av industrin (de andra är rymd- och havsteknologi).

EMI utvecklade generellt kunnande kring datorer och elektronik och letade efter en applikation för sin uppfinning. Philips, Siemens och andra röntgenföretag hade redan en etablerad organisation kring röntgen som var inriktad mot detta område. För dem var det naturligt att arbeta på förbättringar av existerande röntgentekniker. Det är två olika organisatoriska förhållanden kring generella respektive applikationsteknologier.

Man måste förstå olika företags handlande med utgångspunkt från deras specifika situation. Det är knappast slagkraftigt att påstå att röntgenföretagen var ointresserade av nyheter. De handlade rationellt med utgångspunkt från sin situation. EMI och exempelvis Philips drev olika slags forskning och hade därmed olika syften med denna. Philips är applikationsorienterat med stora och krävande produktions- och marknadsresurser inom röntgen som måste hanteras effektivt. Därmed inriktas naturligt sökandet efter att förfina inom ramen för givna tekniker.

EMI kunde på ett mycket mera flexibelt sätt applicera nya tekniker till nya områden, genom att de inte själva var bundna i en stor produktionsapparat. EMI spelade istället rollen som sammanlänkare av teknologier med olika applika-

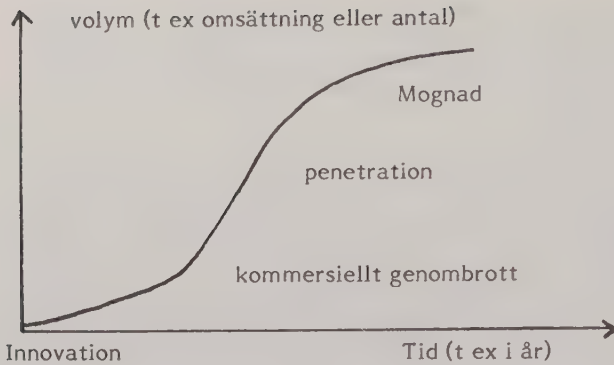
tionsområden eller med en parallell till Andersson et al (1982) kan man säga att EMI fyllde en intermediär funktion. I figur 1 har vi försökt illustrera EMI's respektive de etablerade röntgenföretagens skilda teknologiska arbetsfält. Där framgår också att EMI hade lättare att finna datortomografin, en kombination av röntgenteknik och dator teknik.



Figur 2. EMI's respektive de medicinsk-tekniska företagens teknologiska arbetsfält

Produktorienterade och intermediära företag - en distinktion

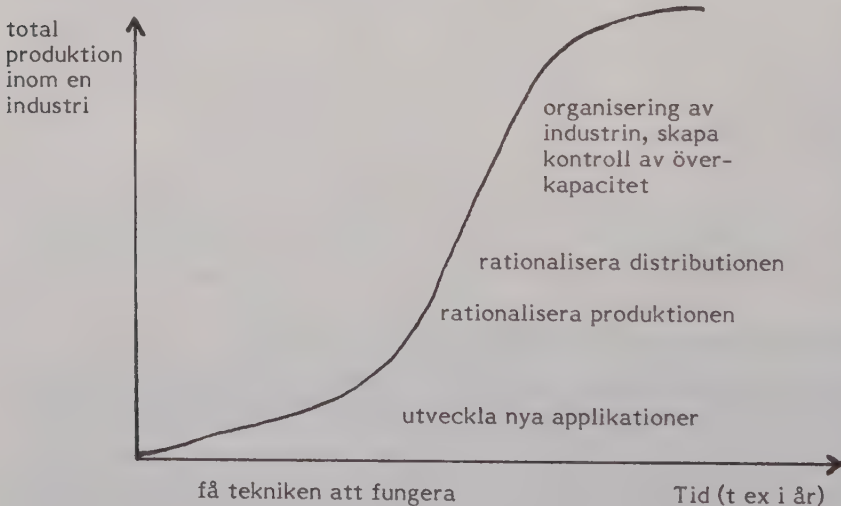
Under lång tid har man beskrivit produkters utveckling med hjälp av en S-kurva som skall illustrera produktens livscykel, enligt fig 3 (t ex Levitt 1969).



Figur 3. Produktlivscykel

Kurvan illustrerar hur en produkt genomgår olika stadier, från utveckling till genombrott, penetration och hur den slutligen uppnår mognad. Under dessa faser är olika faktorer viktiga för att produkten skall bli framgångsrik. Efter ett kommersiellt genombrott gäller det att snabbt bygga upp en effektiv produktion och att utveckla och göra marknadssystemet mera effektivt. Efter en viss period kommer produkten in i ett mognadsstadium, då företaget måste skapa nya produkter som kan ta över rollen som tillväxtmekanism.

Denna syn på produkters livscykel har överförts på sättet att se på hela industriens utveckling, vilket illustreras i figur 4.



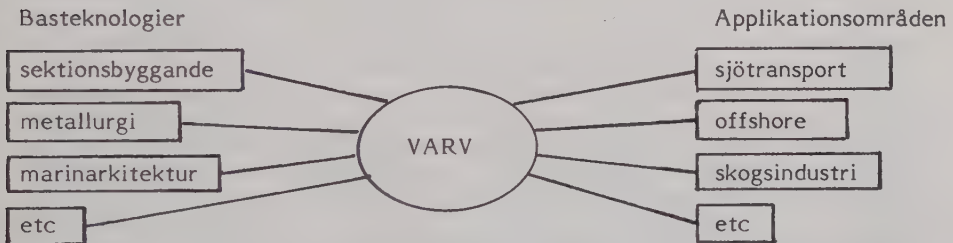
Figur 4. En industris livscykel (källa: Andersson et al 1982 s 8)

Denna analogi mellan produkt och industri har varit vanlig för företag med "enproduktskaraktär".

I produktlivskurvan kan man klart känna igen datortomografin, som efter offentliggörandet fick en snabb tillväxt, men under sent 1970-tal "mognat ut". Däremot är det svårare att förknippa figur 4 med EMI. Klart är att företaget sysslat med att få tekniker att fungera och att hitta applikationer för dessa, däremot finner man innan datortomografin lite av produktions- och marknads-effektivisering inom EMI:s elektroniksektorer. Utanför grammfon- och underhållningssidan har det varit svårt att bestämma marknadsandelar för EMI och t o m att definiera den bransch som EMI tillhörde. Företaget ger en alltför komplex bild. Allt pekar på att EMI inte kan förstås inom ramen för en utvecklingsmodell som bygger på produktlivscykeln.

En intermediär logik

En omtalad bransch som under 1970-talet kommit in i mycket stora svårigheter är varven. Andersson et al (1982) pekar på att det finns ett flertal karaktéristika som visar att varven före 1960-talets mitt hade en intermediär karaktär. Varven sysslade till mycket stor del med att sätta samman olika teknologier, såsom sektionsbyggande, metallurgi, marinarkitektur osv och applicera dessa till olika kunder eller affärsområden, bl a inom sjötransporter, offshore, skogsindustri, ammoniakproduktion. Detta kan illustreras enligt figur 5.

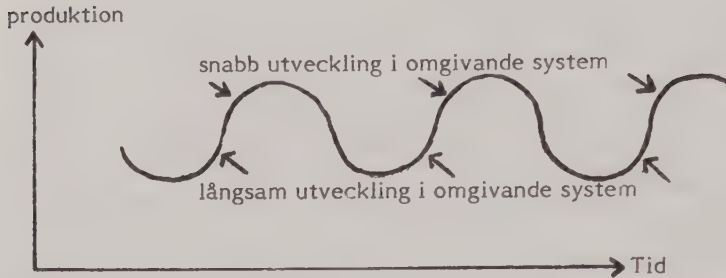


Figur 5. Affärslogik inom varven. (Källa: Andersson et al 1982, s 181)

För ett sådant företag är konkurrenssituationen helt annorlunda och mera komplex än för ett produktorienterat företag. Istället för likartade finns för ett intermediärt företag ett flertal olika typer av företag som konkurrerar med varandra, såsom kontraktsföretag, komponent- och systemproducenter, konsulter, ingenjörsföretag osv. Denna komplexa bild gör att det är närmast omöjligt att beräkna marknadsandelar. Olika företag har olika roller och en livlig konkurrens mellan olika teknologier uppstår.

Istället för att följa den traditionella utvecklingskurvan leds ett intermediärt företag av hur snabbt omgivningen utvecklas, både avseende teknologier och olika applikationsområden. I vissa lägen präglas både teknologier och applikationsområden av begränsad utveckling, vilket gör behovet av intermediära företag litet. I andra lägen finns snabb utveckling i bägge omgivningssystemen

och den intermediära rollen blir åter viktig. Den intermediära utvecklingslogiken kan illustreras enligt figur 6.



Figur 6. Intermediär utvecklingslogik. (Källa: Andersson et al 1982, s 11)

Varven illustrerar också tydligt vilka fällor som ett intermediärt företag kan komma in i. Genom den komplexa bild som präglar dessa företag med krav på en mycket flexibel organisation för att kunna fungera som förmedlare av teknologier, uppkommer gärna drivkrafter för att skapa en mera "trygg" bas i någon produkt. Detta hände just i flertalet stora svenska varv under slutet av 1960-talet. Med starkt stigande oljeefterfrågan uppstod kraftigt sug efter oljetonnage av allt större storlek. Snabbt investerade varven i produktionsanläggningar som var skräddarsydda för tillverkning av stora oljetankers, men samtidigt inte alls avpassade för andra teknologier och andra applikationsområden. Utan att vara medvetna om det lämnade varven sin intermediära roll och övergick till att bli produktorienterade företag. Därmed förlorades också flexibiliteten att vid nedgång i efterfrågan på oljetankers efter 1973-74 flytta över verksamheten till andra områden. Genom mycket stora kapitalsatsningar var det för sent att återgå till en intermediär karaktär.

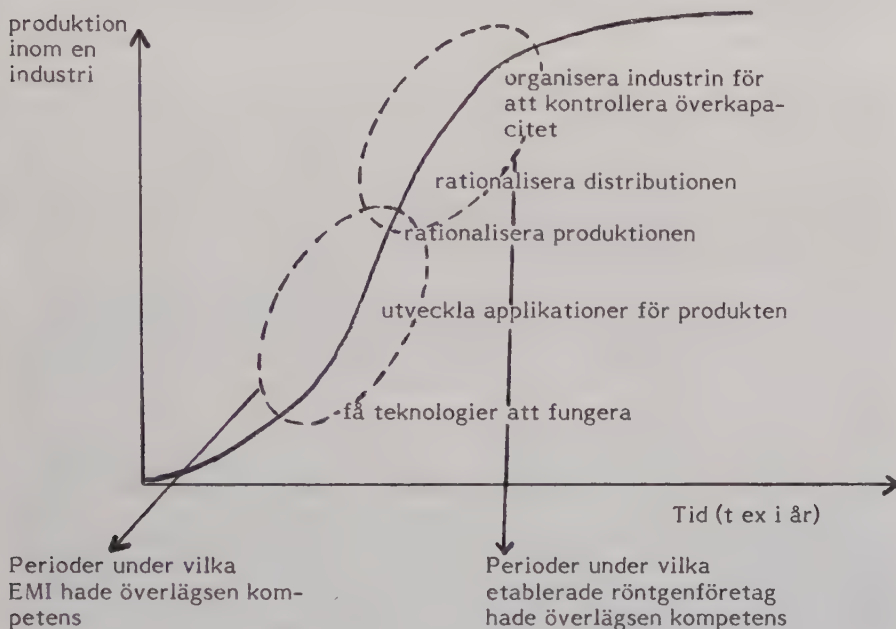
Datortomografi - EMI lämnar sin intermediära roll

EMI:s misslyckande med att bli framgångsrik med datortomografin kan delvis förstås i termer liknande de som gällde för varvsföretag.

Under de två faserna då det gäller att få en teknologi att fungera och att utveckla applikationer för den var EMI:s handlande mycket framgångsrikt och tog stöd i en djup och professionell organisatorisk kunskap. Fram till 1975, då kroppstomografen kom, låg EMI:s handlande inom ramen för en intermediär organisation. Efter 1975 tog successivt de etablerade röntgenföretagen över. Då hade också datortomografin kommit in i stadier som krävde rationalisering av produktion och distribution och senare en organisering av industrin för att möta överkapacitet. Här hade EMI inga erfarenheter utan tvingades successivt till allt djupare produkt- och marknadssatsningar. Samtidigt drog detta allt större resurser och effekten blev att EMI istället för att leda utvecklingen kom efter. Gradvis lämnade EMI sin intermediära roll, vilket också ses i att en mycket stor del av personalen på den centrala forsknings- och utvecklingsenheten involverades i arbetet i att ta fram nya modeller av datortomografi. Arbetet

präglades av förfiningar och forskningsenheten hade inte alls den intermediära funktion som den tidigare haft.

Däremot var etablerade röntgenföretag mycket effektiva i dessa senare faser. Datortomografin passade väl in i deras produktions- och marknadsresurser i ett skede när EMI klarat av det tidiga utvecklingsarbetet och därmed reducerat riskerna för röntgenföretagen i deras satsningar. Datortomografin var nu för dessa endast en produktvariation (i Normanns termer, 1975) som väl passade in i och t o m förstärkte deras resurser. Till detta kommer att datortomografin som en applikationsteknologi redan hade ett välutvecklat system som snabbt tog emot den i röntgenorganisationen. Resonemanget sammanfattas i figur 7.



Figur 7. Kompetens inom EMI respektive de etablerade röntgenföretagen.

Varför EMI tog steget mot att successivt bygga upp allt större egna resurser för datortomografi kan ha ett par förklaringar. En närliggande är att EMI:s ledning inte var medveten om att företaget inom elektronikområdet länge haft en intermediär roll, som ju till stor del låg på den centrala utvecklingsenheten. Framför allt gäller detta John Powell, konsulten som fann prototypen till datortomografi så intressant att han genast ville starta egen produktion. Utan en djup kunskap om EMI blir det naturligt att man vill att den organisation som tagit fram en framgångsrik produkt också skall tjäna pengar på den genom egen produktion. Det är också lätt att tolka röntgenprofessionens enorma intresse, med yttranden om att det är den största uppfinningen inom röntgen sedan röntgenstrålningens upptäckt, som att datortomografin utgjorde en verkligt ny

generell teknologi. Denna bedömning stöddes av att datortomografin i sig präglades av hög uppfinningshöjd. Att röntgenläkare har sina egna kriterier för en ny teknologi uppmärksammas inte.

EMI:s intermediära drag har väsentliga skillnader gentemot de företag som Andersson et al (1982) ger som exempel (varv och byggentreprenadföretag). Det intressanta är att EMI valde att inte exploatera alla de produkter eller applikationsområden som de arbetade med. Den potential för exploatering produktions- och marknadsmässigt som fanns, utnyttjades enbart inom några få områden (bl a försvarselektronik). Uttryckt i andra termer är det ett potentiellt kärnteknologiföretag (i Andersson et al 1982 begreppsapparat) som inte följer med utvecklade teknologier i de stadier då det krävs produktions- och distributionsrationalisering och senare omorganisering för att hantera den mogna situationen.

Skillnaden mellan generella och applikationsteknologier var inte heller klar för EMI:s företagsledning. Inom TV- och radarsystem hade utvecklingen drivits av EMI. En generell teknologi kan genom kombination med andra teknologier successivt hitta fler applikationsområden vilket gjort det möjligt för EMI att bli framgångsrikt genom koncentration på de två första faserna i utvecklingen. Utvecklingsmöjligheterna och applikationerna hade aldrig tömts ut. Därmed hade inte heller "produkten" lika snabbt nödvändiggjort produktion och distributionseffektivitet för att senare kunna möta en mogen situation.

Inom EMI fanns också samma oroskänsla som hos varven att inte ha några verkligt bärkraftiga produkter som kunde fungera som något slags bas. Genom sin intermediära karaktär ställdes krav på flexibilitet i att kunna hitta nya teknologier och applikationsområden för dessa. I en sådan organisation finns alltid människor som strävar efter större säkerhet. Finns då ingen stark policy för hur företaget skall "tjäna pengar" institutionaliserad i organisationen är det lätt att överge den intermediära rollen. EMI utvecklades till ett intermediärt företag mindre av en medveten strävan och mera därför att verksamheten inom fritidssektorerna ställde krav på nya teknologier. Utvecklingsenheten startades och kom att bli central för förändringen av EMI. Till stor del bestämdes framtida satsningar av de teknologier som utvecklades av forskningsenheten, där datortomografin blev det stora misstaget. I början av 1970-talet hade EMI också ekonomiska resurser att "hoppa av" den teknologiska våg som drevs av elektronikens utveckling.

Det är inte så att EMI saknade egen produktion. Det viktiga är att man inte satsade på alla de områden, där man utvecklat nya produkter. Exempelvis fanns ingen produktion av datasystem, TV-apparater etc, där EMI historiskt varit bland de ledande företagen. Den intermediära karaktären inom EMI bygger således på dess forskningsenhet som hade karaktär av att koppla samman den generella teknologin elektronik med olika applikationsområden.

En annan sak är att när väl datortomografiprototypen var färdig, visade EMI många drag som pekade på att man var på väg mot att etablera sig mer som ett produktorienterat företag. Till bilden hör divisionaliseringssträvanden med tung satsning inom underhållningssidan med filmproduktion, egna restauranger och biografier etc. Denna förändring visas också av omorganisationen med skapandet av tre divisioner.

Till bilden hör också att EMI mot slutet av 1960-talet och början av 1970-talet arbetade med magnetiska datatekniker baserade på transistorer, samtidigt som i tysthet elektroniken gick in i en ny era med mikroprocessorer som viktigaste drivkraft. EMI:s strävanden inom mönstertydningssystem med magnetiska tekniker och centrala datorer blev därför genast föråldrade.

Datortomografin och organisatorisk förändring – en begreppsutveckling

Datortomografin utvecklades således framgångsrikt inom EMI fram till 1975, medan den därefter successivt togs över av den etablerade röntgenindustrin. Ultraljudet utvecklades till en början av små företag startade kring medicinskt ultraljud eller företag som utvecklat ultraljud för industriell användning. Först mot slutet av 1970-talet började röntgenföretag i större omfattning att utveckla eller förvärva ultraljudsteknik.

EMI:s misslyckande och de etablerade röntgenföretagens övertagande av marknaden kan delvis förstås i Normanns (1975) termer av omorientering och variation. För EMI innebar datortomografi från 1975 krav på mycket stora förändringar, inte bara av produktion och marknadsföring, utan framför allt av den etablerade affärsidén. Datortomografi var för EMI ett helt annat sätt att tjäna pengar. Istället för överlägsenhet i att utveckla teknologier och hitta applikationer måste EMI mycket snabbt skapa produktionseffektivitet och framför allt marknadskännedom med krav på nära relationer med en internationell röntgenprofession. Detta skulle ske på ett par år och i konkurrens med hela röntgenindustrin, för vilken datortomografin passade väl in i produktionen och kunde marknadsföras via de kanaler till sjukhusystemet som var etablerade sedan länge.

Däremot beaktar inte Normanns begreppsapparat tillräckligt hur en teknologi kan övergå från att vara adaptiv eller i Normanns termer av variationskaraktär till att bli radikal eller omorienterande för en organisation.

Det är viktigt att skilja mellan å ena sidan begreppen **radikal** och **adaptiv teknologi** och å den andra generell och applikationsteknologi. Distinktionen adaptiv-radikal hänförs till huruvida teknologin ställer krav på maktförskjutning och strukturella förändringar i de mottagande och utvecklande socio-tekniska systemen. Däremot hänförs distinktionen generell-applikation till teknologins karaktär oavsett om den för det utvecklande eller mottagande systemet är radikal eller adaptiv. Således kan en generell teknologi vara adaptiv på samma sätt som en applikationsteknologi kan vara radikal för speciella socio-tekniska system. Exempelvis var datortomografiprototypen för de etablerade röntgenföretagen av radikal karaktär till en början, med efter det att systemen kommit i produktion och framför allt kroppstomografin blev en realitet övergick den till att bli av adaptiv karaktär.

För EMI var däremot datortomografin av adaptiv karaktär under utvecklingsskedet, ett stadium som EMI hade omfattande traditioner av och en organisation i sin centrala forskningsenhet som väl passade in. Under produktions- och marknadssatsningarna under senare delen av 1970-talet var teknologin däremot av radikal karaktär, då den ställde krav på omstrukturering av företaget eller annorlunda uttryckt utveckling av en helt ny affärsidé.

En teknologi kan således vara radikal respektive adaptiv inom olika skeden av dess utvecklingsprocess. Exempelvis övergick ultraljudet från att vara en

radikal teknologi för de etablerade röntgenföretagen till att vara adaptiv efter 1976/77 när den stora efterfrågan kom från röntgenprofessionen, på samma sätt som datortomografin för dessa företag efter 1975 blev en adaptiv och väl anpassad teknologi.

Å andra sidan utvecklade sig ultraljudet från att vara en adaptiv teknologi för små ultraljudsföretag, startade kring ultraljudet, till att bli en radikal teknologi för ett flertal av dem, under stadier då det handlar om att etablera sig på den mycket svåra röntgenmarknaden i konkurrens med etablerade röntgenföretag. Intressant är att ultraljudet också rent tekniskt under senare delen av 1970-talet med hjälp av automatiska signalbehandlingssystem, rörlig bildåtergivning och mycket hög bildkvalitet gjort det möjligt för röntgenläkare att nästan lika enkelt diagnostisera en ultraljudsbild som en röntgenbild. Därmed tog ultraljudet betydande steg från att vara en radikalt ny teknologi till att bli en adaptiv teknologi även för röntgenprofessionen. Det tycks vara så att ultraljudet först efter det att tekniken övergått till att bli adaptiv, accepterats och spridits inom röntgenprofessionen. Resonemanget sammanfattas i figur 8.

	Radikal	Adaptiv
Generell	Ultraljud: För röntgenföretag 1950-76	Ultraljud: För nystartade ultraljuds- företag 1950-76. För röntgenföretag 1976 -.
Applikation	Datortomografi: För röntgenföretag i dess tidiga prototypstadium.	Datortomografi: För EMI 1970-75. För röntgenföretag 1975 -.

Figur 8. Datortomografi och ultraljud i förhållande till olika teknologi-begrepp

En teknologi kan således vara radikal respektive adaptiv för respektive:

- o organisationen som utvecklar den
- o i förhållande till marknaden/mottagande system
- o i förhållande till konkurrenterna, i detta fallet de traditionella röntgenföretagen

EMI arbetade till en början med en adaptiv teknologi som väl passade in i den forsknings- och utvecklingspräglade miljön inom företaget. Däremot hade EMI svårare att inse att datortomografin snabbt skulle komma att ställa krav på utveckling av ny kunskap och nya resurser inom produktion och internationell marknadsföring. Ett av EMI's misstag är sannolikt att man betraktade dator-tomografi som en möjlighet att etablera en ny industri kring. Istället är det en

applikation av röntgen med enbart ett par procent av totala antalet undersökningar. EMI kom in i en etablerad bransch. Man hade inget nätverk i form av produktions-, marknads- eller serviceresurser som de etablerade företagen. Man kom därmed lätt in i utvecklingsfällor. Man kunde inte stödja en service- och marknadsorganisation med hjälp av andra röntgentekniker, vilket de etablerade företagen kunde. Datortomografin var för röntgenföretagen en marginell produkt inom ramen för röntgenteknik. För EMI var den däremot den produkt som skulle bära hela kostnaden för den medicinsk-tekniska sektorn. EMI befann sig således i en utvecklingssituation som var närmast omöjlig att klara av, framför allt utifrån en ny marginell produkt baserad på en mogen generell teknologi. Uttryckt i Argyris & Schön's (1978) termer hade det krävts en inläring av "double loop karaktär" för att omvandlingen skulle lyckas. Röntgenföretagen kunde nöja sig med "single loop learning". Inte heller utvecklingen av ultraljud ger exempel på någon organisation som tvingades till "dubbel inläring" i accepterandet av tekniken, vare sig inom industrin eller den medicinska professionen.

En annan intressant iakttagelse är att EMI kom in i svårigheter under de stadier av utvecklingscykeln som präglas av produktions- och distributionseffektivisering. Dessa perioder beskrivs av Porter (1980) och Andersson et al (1982) som de som ställer minst krav på en organisation och därmed är lättast att hantera, medan innovations- och mognadsstadierna är de kritiska perioderna. Denna deras bild är således alltför generell. För det utvecklingsorienterade intermediära företaget EMI var just penetrationsfasen den som ställde störst krav på förändring för organisationen. Genom att man tidigare främst utvecklat nya tekniker, men inte i någon större omfattning utvecklat och penetrerat applikationsmöjligheterna, skapades heller inte inom organisationen kompetens eller resurser för att hantera dessa senare stadier.

Forskning och utvecklingsverksamhet måste ses ur ett affärsstrategiskt perspektiv

Efter att ha diskuterat datortomografin och ultraljudet utifrån några teknologibegrepp övergår vi till att behandla forsknings- och utvecklingsverksamhet (FoU) kopplad till datortomografin.

Några vanliga definitioner av FoU

I nära anknytning till diskussionen av innovationer ligger hur forsknings- och utvecklingsarbetet (FoU) skall ledas och organiseras. En mängd olika sätt att klassificera forskning och utveckling har utvecklats, som delvis har gemensamma och delvis olika utgångspunkter.

Ett vanligt sätt är att skilja mellan grundforskning och tillämpad forskning. Grundforskning definieras som sådan forskning som syftar till att öka den vetenskapliga kunskapen utan att ha någon direkt kommersiell användning. Tillämpad forskning definieras som forskning som syftar till vetenskapligt kunnande med målet att finna kommersiell användning i någon ny produkt eller process (N.S.F. 1966).

Kay (1979) skiljer mellan grundforskning, vilken täcker in vetenskaplig forskning, och tillämpad forskning som är synonymt med teknisk forskning eller produkt- och processinriktad tillämpad forskning.

Med utvecklingsarbete avses ofta tekniskt arbete som syftar till att göra vetenskaplig kunskap användbar i nya processer och produkter.

Relationen mellan vetenskap och teknologi har också intresserat en del forskare. Price (1965) menar att de utgör två åtskilda aktiviteter. Vetenskaplig forskning är inte patenterbar och syftar inte till att göra affär av de vetenskapliga framstegen, medan teknologiskt utvecklingsarbete ofta har detta som ett direkt syfte. Price (1975), Gibbons & Johnston (1974) och Snow (1959) har funnit att vetenskapsmän och tekniker har helt olika intressen och vanor och arbetar i två skilda kulturer. Vetenskapsmän finner motivation i sökande efter ny kunskap, ofta i syfte att öka sin professionella status via publicering. Teknikern är mera inriktad på att driva sitt arbete till en kommersiell framgång.

Kopplingen mellan vetenskap och teknologi anses av flertalet vara indirekt snarare än direkt. Det finns oftast ett långt tidsmässigt steg mellan vetenskaplig kunskap och dess användning i någon teknologi som kan bilda underlag för ny teknik eller ny process. Teknologiskt utvecklingsarbete bygger snarare på "gammal" vetenskaplig kunskap och är inte direkt kopplat till pågående vetenskapliga aktiviteter. Langrish et al. (1972) och Jewkes et al. (1969) kunde identifiera frånvaron av ett starkt samband mellan vetenskap och teknologi i de uppfinningar som de studerade. Samma iakttagelse har Mensch (1979) gjort. Däremot kan i vissa fall en vetenskaplig upptäckt fungera som stimulansfaktor och inrikta det teknologiska utvecklingsarbetet. Detta såg Mansfield (1968 a) i sin studie av DuPont.

Länge har innovationsprocessen setts som en sekvensiell kedja av grundforskning, tillämpad forskning, utvecklingsarbete, prototypbyggnad, marknadsföring, kommersialisering och spridning. Innovationsprocessen har således i huvudsak betraktats som en rationell aktivitet (Machlup 1962 och Schumpeter 1954).

Andra forskare, bl a Schmookler (1966), Falk (1973), Salomon (1971), har pekat på svårigheterna att urskilja några klara skillnader mellan grundforskning och tillämpad forskning. Dessa försök leder ofta till missuppfattningar kring hur innovationsprocesser i verkligheten går till. Man finner ofta i empiriska studier en komplicerad interaktion mellan olika slags grundforskning, tillämpad forskning och utvecklingsarbete.

Schon (1967) och Gold (1971) hävdar att innovationsprocesser har betydande inslag av iterativt slag. Jewkes et al (1969) har presenterat ett omfattande empiriskt material som visar på svårigheterna att styra eller planera innovationsverksamhet. Globe et al (1973) hävdar att "icke målinriktad forskning" ofta har varit basen för betydande innovationer. Nelson (1962) har pekat på betydelsen av att inte lägga på för stark kontroll i tidigt skede av en utvecklingsverksamhet, eftersom utveckling och urval av olika forskningsprojekt då oftast sker som en naturprocess.

Gold (1971) har pekat på vikten av att förstå hur innovationsprocesser går till. Schon (1967, 71) har fört fram betydelsen av att istället för planering och kontroll skapa en miljö som stödjer och är allmänt receptiv mot förändringar.

En del forskare har också sökt tränga djupare in i den osäkerhet som präglar innovativ verksamhet. Knight (1921) skiljde mellan kvantifierbar risk/osäkerhet och icke mätbar/genuin osäkerhet. Dessa båda former av osäkerhet har helt olika karaktär. Den genuina osäkerheten kan inte reduceras till någon kvantifierbar sannolikhet för olika händelsers utfall. Istället måste intuition och bedömning spela en avgörande roll. Annorlunda uttryckt: denna form av osäkerhet kan endast reduceras via konkret handlande. Schon (1967) och Gold (1971) visar att utvecklingsverksamhet inte kan förstås i en rationell modell, där det handlar om riskbedömning.

Bowie (1963) hävdar att osäkerhet reduceras då man går från forskning genom utvecklingsarbete, design och prototypbyggande till produktion. Under forsknings- och utvecklingsstadierna finns en hög grad av osäkerhet om användbarhet, funktion, marknadspotential etc. Freeman (1974) har också funnit varierande grad av osäkerhet i samband med olika former av innovationer. Han presenterar en skala i sex steg som går från verklig osäkerhet i samband med grundläggande forskning över nya generationer av etablerade produkter med "moderat" osäkerhet till en ny modell/produktdifferentiering med mycket lite osäkerhet.

Graden av osäkerhet i forskning och utvecklingsarbetet varierar enligt Freeman med karaktären av det FoU-arbete som utförs. Jewkes et al (1969), Carter & Williams (1959) och Schmookler (1962) har också fört fram tankar i dessa banor.

Ett flertal forskare har funnit att graden av osäkerhet är hög i både grund- och tillämpad forskning (Price 1964, Taton 1957, Kuznets 1962, Gold 1971, Schon 1967, Price & Bass 1969). Däremot har man iakttagit en lägre grad av osäkerhet i utvecklingsfasen som hänförs till att det då ofta handlar om designarbete och teknisk provning som ofta följer beprövade vägar.

En alternativ klassificering av forskning och utvecklingsverksamhet

I likhet med några vanliga definitioner av innovationer bygger klassificeringen i grund- och tillämpad forskning på innovationskedjemodellen.

För att förstå datortomografins utvecklingsprocess och specifikt EMI:s svårigheter att etablera sig som ett framgångsrikt medicinskt-tekniskt företag har vi funnit det mera fruktbart att sätta in FoU-verksamheten i ett affärsstrategiskt perspektiv. FoU är ingen avskild del i ett företags övergripande affärsstrategi. Även om det vid historiska studier av utvecklingsförlopp går att urskilja olika stadier, ger denna modell små möjligheter att förstå, framför allt ur ett normativt syfte, vad som i det konkreta fallet ligger bakom ett specifikt utvecklingsförlopp.

Som tidigare sagts genomgick både datortomografen och ultraljudet en komplex utvecklingsprocess, där teknisk utveckling samspelade med marknadsåtgärder och organisationsbyggande.

Utveckling av ett företags affärsområde och FoU:s specifika roll måste ses i en helhet. FoU måste inordnas som en integrerad del av ett företags uppsättning av affärsidéer. Datortomografen visar att teknisk utveckling enbart är en aspekt som måste fungera för att en idé om en ny produkt eller process skall kunna utvecklas framgångsrikt. Företagsledningen måste inordna FoU-arbetet i den

övergripande strategin och bestämma vilken roll den skall spela. FoU kan således fylla olika strategiska funktioner. Därmed ställs olika krav på dess uppgifter och vilken organisationsform och vilka ledningsprinciper som skall gälla.

En del FoU-aktiviteter syftar till stöd åt etablerade affärsområden, t ex förädling av existerande produkter och teknologier, utveckling av nya komponenter och produktgenerationer, etc. Denna FoU-verksamhet behöver inte på något sätt vara av marginell betydelse. Inom t ex bilindustrin är en stor del av utvecklingsarbetet av denna karaktär. Att ta fram en ny bilmodell, med för en lekman relativt små förändringar, kan kosta flera miljarder kronor. Denna typ benämner Andersson et al (1982) **affärsstödande forskning** och den spelar en stor roll som stöd åt etablerade affärsidéer.

I andra fall syftar FoU till att utveckla nya affärsområden. I detta fall är inte FoU direkt kopplat till existerande affärsområden. Syftet är istället att finna nya områden inom vilka företaget kan växa. Underlaget till denna **genombrottsforskning** (Andersson et al 1982) kan komma från egen FoU-verksamhet såväl som genom förvärv av kunskap och tekniker utifrån, såväl från andra företag som från universitet och andra forskningsinstitutioner.

Alternativt skulle man kunna skilja mellan variations- respektive omorienterande FoU.

För att genombrottsforskning skall leda till framgångsrika nya affärsområden krävs en mängd olika faktorer. Det ställs krav på utveckling av prototyper och processer, såväl som utveckling av marknadskunnande och i många fall produktionsresurser av nytt slag. Genombrottsforskningen måste vara förankrad i en övergripande strategi. Med denna avses om företaget skall exploatera idén själva eller om FoU-resurser skall köpas utifrån, t ex via licens; vilken roll det nya affärsområdet skall spela, vilka krav på organisatoriska förändringar som ställs, vilka marknader som man skall arbeta på och vilka finansiella och personella resurser som behövs. Uttryckt i Normanns (1975) termer handlar det om att integrera FoU i visioner om framtida affärsområden.

För att generera idéer och kunskap som kan bilda underlag för nya affärsgenombrott kan **explorativ** FoU spela en viktig roll. I denna ingår i många fall en grundforskningsenhet som har till uppgift att bedriva en relativt förutsättningslös kunskapsutveckling inom områden som är intressanta för företaget. Här kan också ett nära och omfattande samarbete med universitet och forskningsinstitut ingå.

Det är ofta denna form av forskning som givit upphov till kravet på att forskning inte får styras, att det krävs en kreativ och fri miljö etc. Å andra sidan hörs ofta från marknads- och produktionshåll kritik mot att FoU drar stora ekonomiska resurser, men sällan leder till nya framgångsrika produkter eller processer. I många fall har resultatet blivit att man inte ställt några krav på FoU-enheten vilket lett till att den dåligt passat in i företagets övergripande strategi.

Medan distinktionen grund- tillämpad forskning tar utgångspunkt i forskningsarbetets karaktär bygger begreppsparet affärsstödande-genombrottsforskning på huruvida arbetet ligger inom affärsområden som företaget tidigare sysslat

med. Därmed kan forskningsarbete som är affärsstödande för en viss organisation för en annan vara av genombrottskaraktär. För EMI var FoU-arbetet inom röntgen närmast av genombrottskaraktär inom ramen för den centrala forskningsenheten, medan det för de etablerade röntgenföretagen närmast hade karaktär av affärsstödande FoU.

Distinktionen mellan genombrottsforskning och explorativ forskning är också viktig. EMI's centrala forskningsenhet fungerade huvudsakligen som en explorativ forskningsenhet inom elektronik. Däremot var enhetens funktion i en övergripande genombrottsforskningsstrategi mindre klar. Detta fungerade väl under perioder då EMI var en intermediär organisation. Däremot medförde den dåliga kopplingen mellan den explorativa forskningen och en övergripande affärsutvecklingsstrategi att EMI relativt oreflekterat satsade på att bygga upp omfattande egna resurser för datortomografi.

EMI och datortomografin visar att också den explorativa FoU-verksamheten måste fylla en funktion i den övergripande strategiska genombrottsforskningen. Det är en viktig uppgift för högsta företagsledningen att utvärdera FoU-arbetet och inrikta dess roll i strategin. I de fall där företaget genomgår viktiga strategiska förändringar är det ofta också nödvändigt att förändra såväl den explorativa som genombrottsforskningens funktion. Därför är det svårt att på en generell nivå, t ex för branschen, fastställa vilken form och omfattning som FoU skall ha. Detta är avhängigt det specifika företags affärsposition och strategiska strävanden.

Frohman (1982) pekar också på betydelsen av företagsledningens engagemang och ledning i att koppla teknologi till affärsområden som en avgörande faktor i de företag som utvecklat framgångsrika affärer. Inte minst spelar företagsledningen stor roll för att legitimera nödvändiga åtgärder. Rosenbloom & Kantrow (1982) har också pekat på betydelsen av företagsledningens inriktning och ledning av genombrottsforskning (corporate research). I Selznicks (1957) och Normanns (1975) termer handlar det om vikten av att den högsta företagsledningen utövar ett metaledarskap.

Organisation av FoU

Det finns många olika sätt att organisera FoU som drivs företagsinternt. Ett vanligt sätt är att den knyts till en central FoU-enhet som arbetar under direktionen, eventuellt styrelsen. Utvecklingsarbetet bedrivs då dels för olika divisioner, dels såsom mera explorativ aktivitet med egen budget. Denna organisationsform används främst för explorativ forskning, där anknytningen till existerande affärsområden är liten och i vissa fall snarare utgör en belastning än en tillgång.

I andra fall är FoU utlagd på olika affärsområden. Syftet är att FoU skall stödja existerande affärer. Den utgör således modell för främst affärsstödande FoU. Vid denna ställs krav på nära marknadskontakter. Den passar därför bäst för sådan FoU som syftar till förfining av existerande produkter och processer. Däremot är det klart svårare att uppmärksamma nya tekniska genombrott som kan komma att utmana det existerande affärsområdet.

Den här formen av ett FoU är det oftast nödvändigt för företagen att ha inom den egna organisationen. Det är svårt att från konkurrenter eller från utom-

stående kontraktsforskningsföretag köpa den kompetens som behövs. Utvecklingsarbetet är nära relaterat till affärsområden och måste nödvändigtvis kopplas till existerande produkter, processer såväl som marknader. Däremot är det inte nödvändigt för ett företag att internt driva explorativ forskning. I affärsstrategin kan ligga att köpa kunskap från utvecklingsorganisationer etc. I vissa fall innebär detta att man undviker risktagande i ett tidigt skede av t ex teknisk utveckling. Å andra sidan kan det medföra att man har svårt att hänga med i utvecklingen inom specifika områden.

EMI och de etablerade röntgenföretagen drev olika slags forskning och utveckling

Distinktionen mellan generella- och applikationsteknologier respektive affärsstödande- och genombrottsforskning kan hjälpa oss att bättre förstå dator-tomografin och ultraljudets utveckling och specifikt varför EMI blev utkonkurrerat av den etablerade röntgenindustrin.

Datortomografin utvecklades inom EMI:s centrala forskningslaboratorium som sysslade med explorativ forskning, närmare bestämt utveckling av den generella teknologin elektronik och att finna applikationer för denna. Långt ifrån alla tänkbara applikationer exploaterades inom EMI. Till bilden hör också att EMI liksom röntgenföretagen hade utvecklingsenheter inom de affärsdrivande divisionerna, t ex inom filmteknik och radarteknik.

De etablerade röntgenföretagen drev däremot sin utvecklingsverksamhet avseende etablerade röntgenprodukter inom röntgendivisionerna, där förfining och stöd av existerande program var det mest väsentliga. Därför var det svårt för dessa att uppmärksamma eller få in en ny produkt inom existerande program. Man måste lägga märke till att datortomografin ställde krav på ett nytt tänkesätt genom att här integrera datorer med ett nytt koncept att samla information. Det handlade om att utveckla en helt ny produkt, som krävde kombination av utvecklingsresurser som inte fanns integrerade inom existerande utvecklingsorganisation.

De etablerade röntgenföretagen hade i och för sig inom koncernorganisationen också centrala forsknings- och utvecklingsenheter i likhet med EMI. Men eftersom röntgenprodukter för dessa företag var etablerade affärsområden drevs utvecklingsarbetet inom forskningsenheterna på divisionsnivå. Det var också här som inriktning av det vidare utvecklingsarbetet leddes. Här togs då av naturliga skäl utgångspunkt i existerande produkter och förfining av dessa. Man får komma ihåg att i slutet av 60- och början av 70-talet var en expansiv period för dessa medicinsk-tekniska företag. Det fanns således ingen drivkraft hos dem att expandera inom nya och osäkra områden. Däremot hade EMI i sin centrala utvecklingsenhet möjligheter att finna datortomografin, kombinationen mellan datorer och röntgen, i sitt sökande efter generellt bättre metoder att med hjälp av datorer tyda mönster av olika slag.

Olika former av osäkerhet vid affärsutveckling

Som framgår av den tidigare beskrivningen menar ett flertal forskare att FoU-verksamhet är behäftad med olika grad av osäkerhet. Grund- och tillämpad forskning har hög grad av osäkerhet medan utvecklingsarbete och marknadsföring har låg grad.

Denna syn är till viss del riktig. I det tidiga skedet av ett utvecklingsförlopp är osäkerheten om produkten/tekniken över huvud taget kommer att fungera mycket hög. Det är i det närmaste omöjligt att bedöma dess tillämpning. Vid grund- och tillämpad forskning är osäkerheten ofta stor i den bemärkelsen att man inte vet vart arbetet kommer att leda, om det går att utveckla en framgångsrik produkt och långt mindre bedöma eventuella produkters användbarhet på en marknad. Samtidigt är ofta begränsade resurser finansiellt och personellt och små eller inga marknads- och produktionsresurser engagerade. I det tidiga skedet är FoU inte störande för de etablerade affärsområdena. I denna bemärkelse är således osäkerheten inte speciellt hög.

När det gäller affärsstödjande FoU handlar det ofta om nya generationer, tekniskt effektivare system, nya modeller etc. Graden av osäkerhet vad gäller teknisk funktion och användbarhet är naturligtvis lägre. Däremot är ofta omfattande marknads- och produktionsresurser inkopplade. Inte sällan kräver den här sortens utvecklingsverksamhet mycket stora resurser. General Electric's utveckling av en egen kroppstomograf kostade ett par hundra miljoner kronor. En ny bilmodell som misslyckas på marknaden kan i värsta fall hota ett helt företags existens.

Inom EMI:s centrala forskningsorganisation fanns också möjligheter att hantera den osäkerhet som karakteriserar det tidiga utvecklingsstadiet. Till en början handlade osäkerheten om den tekniska funktionen och vad uppfinningen skulle kunna användas till. Denna osäkerhet kunde de etablerade röntgenföretagen inte hantera i sin divisionaliserade utvecklingsorganisation, där nya utvecklingssteg till huvudsak styrs från marknaden.

Däremot under senare delen av datortomografins utvecklingsförlopp, när det handlade om förfiningar av tekniken och utvecklingen av nya generationer, passade röntgenföretagens utvecklingsorganisation väl för detta arbete. Det fanns nu en marknad för tekniken och man visste att den fungerade. Utvecklingen styrdes från marknadskrafterna snarare än från ett teknologiskt tryck, vilket karakteriserade det allra första skedet.

På en generell nivå kan man således säga att en explorativ FoU-enhet främst får impulser i form av teknologiskt tryck medan en affärsstödjande FoU-enhet hämtar de främsta impulserna från marknaden. Denna avgörande skillnad avspelas oftast i organisationsstrukturen såväl som i ledningsprinciper.

EMI tvingades också skapa en utvecklingsorganisation i USA, närmast för att driva affärsstödjande forsknings- och utvecklingsarbete. Inkörningssvårigheter i kombination med att EMI sannolikt inte var observant på skillnaden mellan affärsstödjande och genombrottsforsknings karaktär innebar att EMI kom in i svårigheter. Samtidigt ökade osäkerheten avseende marknadssatsningar, eventuellt internationalisering och kravet på stora produktionsresurser för EMI. Dessa senare osäkerhetsformer hade EMI svårare att hantera, beroende på att man inom detta område inte hade samma kraftfulla erfarenheter som inom forsknings- och utvecklingsarbete. Inom elektronikområdet var EMI i huvudsak ett nationellt företag som till stor del arbetade med uppdragsforskning åt engelska försvaret.

Osäkerhetsbegreppet måste således studeras i relation till en viss organisations specifika strategiska situation. Därmed ges ingen tillräckligt nyanserad bild

genom att säga att innovationsfasen präglas av hög osäkerhet, som sedan reduceras i takt med att tekniken börjar fungera och man ser en framväxande marknad. För EMI var stadier som krävde produktions- och distributions-rationalisering de klart mest osäkerhetsgenererande.

25. TEKNIKUTVECKLING UR ETT AFFÄRS- OCH BRANSCHPERSPEKTIV

Som tidigare sagts är det viktigt att studera teknikutveckling i ett branschperspektiv. Det är då lättare att betrakta teknikkomponenten som en del i ett större system som måste fungera för att ett företag skall kunna utveckla ett lönsamt affärsområde.

Det är av avgörande betydelse att studera affärslogiken i den etablerade bransch, för vilken en ny teknik växer fram, eller den framväxande nya branschen. Ny teknik ställer ofta till problem för etablerade sociala system. Detta gör att till synes tekniskt-ekonomiskt framgångsrika tekniker kan få oväntade svårigheter att etablera sig. I andra fall kan till synes anspråkslösa nyheter få ett mycket kraftigt genomslag.

En ny teknik konkurrerar med etablerade tekniker, kring vilka det byggts upp ett socialt system till skydd för gjorda investeringar, både av materiellt och personellt slag. Med ett affärsutvecklings- och branschperspektiv är det lättare att förstå det sociala systemet i en specifik bransch.

I detta kapitel skall vi utifrån det synsätt på teknik- och branschutveckling som behandlas i kapitel 2 diskutera datortomografins och ultraljudets utveckling. Distinktionen mellan generella och applikationsteknologier sätts in i resonemanget. (1)

Kritiska element i en branschutvecklingsprocess

Vi har i kapitel 24 behandlat det vanliga sättet att betrakta en produkts och om en branschs utveckling med hjälp av ett livscykelresonemang. Levitt (1969 s 34) skiljer mellan introduktion, tillväxt, mognad och nedgångsstadierna. I detta kapitel behandlar vi i första hand den första fasen.

Som bl a Normann (1975) behandlat, så ställer en produkts/tekniks utveckling helt olika krav på en organisation under olika skeden av utvecklingsförloppet. I det tidigare skedet gäller det att skapa och underlätta variation, medan det i senare stadier är viktigt att homogenisera olika aktiviteter, att reducera variation. Normann har också utvecklat en distinktion mellan att **skapa embryon** och att **skapa genombrott**, två faser i det inledande stadiet av livscykeln. Här skall vi närmare utveckla en syn som bygger på denna distinktion och tar hjälp av datortomografen och ultraljudet som illustrationsexempel.

Det embryonala stadiet

Marknads- eller teknikstyrd utveckling?

Det är ett vanligt sätt att betrakta drivkraften till nya produkter/tekniker som hänförlig till marknadsefterfrågan. I studien av datortomografen och ultraljudet är det dock svårt att se någon sådan uttalad marknadsefterfrågan som drivkraft i det tidigare skedet. Istället präglades situationen av experiment, obalanser, osäkerhet och olika slags lösningar snarare än sammanhängande planer styrda från en marknad. I likhet med bl a Schön (1971) och Normann (1975) vill vi betrakta utvecklingen som ett samspel mellan marknadsefterfrågan och "ett teknologiskt tryck" (distinktionen market pull och technology push). Det är

dessas som omväxlande drivit fram utvecklingen. Man kan således beskriva situationen som karakteriserad av olika typer av **obalanser**.

Empiriska erfarenheter visar att när det gäller komplicerade affärsidéer av systemkaraktär inte först handlar om utredningar och sedan designarbete. Istället växer en ny teknik fram i en komplicerad utvecklings- och inlärningsprocess. Schön (1967, 1971) har uttryckt det i termer av att det inte är möjligt att enligt någon centrum-periferimodell planera fram nya tekniker. Detta är en framgångsrik modell enbart för modifieringar av existerande teknologier.

Vi tror snarare att det för nya tekniker med hög nyhetsgrad i inledningsskedet oftast handlar om en outvecklad teknik som söker en användning. När tekniken hittar några första applikationer skapas ett efterfrågetryck från marknaden, vilket i sin tur leder fram till ytterligare teknisk utveckling, osv. Beroende på vad slags teknik det är och hur snabbt den kan sättas in inom kravställande applikationsområden utvecklas tekniken olika snabbt. Vi tror också att det finns markanta skillnader mellan utvecklingslogiken hos olika slags teknologier.

Utvecklingen under det embryonala stadiet är fylld med problem, obalanser, hög energi och stor osäkerhet. Detta illustreras också av datortomografin och ultraljudet.

Tänkarna att använda ultraljud vid diagnostik växte fram i samband med att man under 1950-talet började med öppna hjärtoperationer, där existerande diagnosmetoder inte gav tillfredsställande information om t ex vissa klaffar. Ultraljud och kärlröntgen utvecklades och förfinades och kom att bli instrument för en bättre planering av operationerna.

Idag har datortomografin diagnostiska potentialer medfört att man kan upptäcka och diagnostisera ett flertal tumörformer som det i allmänhet inte finns någon framgångsrik behandling för. Detta förhållande har satt igång utvecklingsarbete för att ta fram behandlingsmetoder för dessa tumörformer, t ex inom levern och bukspottskörteln. Inte minst försöker man kombinera diagnosmetoder med behandling, t ex genom att spruta cellgifter genom katetrar för att få en tillräckligt väl riktad verkan från giftet.

Vid datortomografins tillkomst i början av 1970-talet var behandlingsmöjligheterna inom skallen långt framme och man kan säga att röntgen var i behov av nya instrument för att framgångsrikt kunna ge klinikerna ny information att använda som underlag i sin behandling. Genom datortomografin kunde röntgenläkarna ge viktiga bidrag för att kunna behandla olika cancerformer, etc. Det är således inte i någon harmonisituation, utan genom ömsesidiga obalanser mellan diagnostik och terapi som utvecklingen drivits fram.

Innovatörer och entreprenörer spelar en viktig roll

I det första skedet är förekomsten av personer som tar risker av avgörande betydelse. Trots en mycket hög grad av osäkerhet drivs dessa personer av något slags intuitiv känsla om vad de vill uppnå.

Datortomografins uppfinnare Hounsfield illustrerar väl en fanatisk innovatör, som drevs av en intuitiv känsla av att han skulle lösa problemet med återföring av lagrad information i datorer utan att förlora alltför mycket information. Han

experimenterade med gamma- och röntgenstrålning och hade en egen känsla av hur lösningen skulle se ut. Däremot hade han svårt att kommunicera denna sin uppfattning i det tidiga skedet. Istället fick företagsledningen och personal inom den centrala utvecklingsenheten, samt samarbetande röntgenläkare, lita på honom och stödjade honom utan att man hade en plan för hur det färdiga resultatet skulle se ut. Datortomografiprototypens utseende och användning växte fram i en successiv process i samverkan mellan Hounsfield, EMI och röntgenläkare. I det konkreta byggandet av prototypen löstes många problem, som man inte ens förutsett, t ex patientens placering i maskinen.

Enskilda innovatörers/entreprenörers betydelse visas kanske än tydligare av ultraljudets utveckling. Under lång tid togs de främsta utvecklingsstegen av enskilda personer, som verkade utan organisatoriskt stöd.

Det finns också intressanta skillnader mellan innovatörer och entreprenörer. Hounsfield såväl som ultraljudspionjärerna Hertz och Edler var renodlade innovatörer, d v s forskare med intresse för något visst tekniskt eller medicinskt problem. De hade däremot inga erfarenheter av hur man bygger en organisations- och marknadsstruktur kring tekniken för att utveckla ett framtida affärsområde. Detta kunde däremot enskilda tekniker och företagsledare inom EMI och små ultraljudsföretag göra.

En innovatör tycks behöva en personlighet med intresse för att penetrera ett visst område djupt, medan entreprenörer snarare har en bred syn och måste kunna koppla samman olika faktorer, d v s skapa en struktur kring innovationen. Detta tycks gälla vid utveckling av innovationer med högt tekniskt innehåll.

Social energi

Det är således viktigt att försöka skapa, utnyttja och bygga på dessa naturliga drivkrafter. En ny teknologi utvecklas inte i ett steg och installeras i ett andra. Det är istället en successiv process, som ofta är lång och besvärlig, där enskilda innovatörer och entreprenörer är en kritisk ingrediens. Detta innebär uttryckt i Normanns (1975) termer att man måste arbeta efter en processyn och inte målsyn, d v s inrikta sig på processen och inte ställa upp slutliga mål för utvecklingsarbetet. Istället måste man satsa på successiva delmål.

Det är också av vikt att det finns social energi inom organisationer för att de skall ta till sig en ny idé och satsa på ett osäkert utvecklingsprojekt.

Som stöd till Hounsfield fanns inom EMI under slutet av 1960-talet och början av 1970-talet energi för en förnyelse. Man hade inom koncernen inlett en medveten diversifieringsplan och till stöd hade man överskottsresurser såväl personellt som ekonomiskt. Den centrala utvecklingsenheten utgjorde en egen enhet med budget dels för egna projektidéer, utan någon direkt koppling till existerande produktområden, dels för uppdragsforskning åt interna såväl som externa kunder. Hounsfield var väl känd inom den centrala utvecklingsenheten och var högt värderad eftersom han framgångsrikt varit med att utveckla radarsystem, datorer etc. Man kände till hans personlighet och kunde således lita på att han verkligen hade tänkt igenom idén till datotomografin även om han inte kunde kommunicera den med andra människor. Dessutom hade EMI mer och mer blivit medveten om att de magnetiska lagringstekniker som man arbetade med skulle bli förbigångna av nya digitala tekniker. Hounsfield själv

var en av de personer som arbetade med magnetiska lagringstekniker och som således sökte sig nya områden för sin forskning.

Datortomografins utveckling visar också att det inte heller är nödvändigt eller t o m möjligt att till en början planera för hur det färdiga systemet kring tekniken kommer att se ut. Under det embryonala stadiet vet man aldrig vilka som kommer att bli de viktigaste applikationsområdena.

Artificiella eller naturliga demonstrationer?

Det är också viktigt att utnyttja de applikationer där den ofullständiga teknologin kan uppvisa "ekonomi". För att en "embryonal" teknologi skall bli framgångsrik måste den i ett tidigt skede användas för att lösa verkliga problem. Stöd åt uppbyggnad av verkliga demonstrationsprojekt ger större trovärdighet för efterföljare än demonstrationsprojekt i någon artificiellt skyddad miljö. Andersson et al (1982) pekar på att ny teknik ytterst sällan blir utprovad på områden där det finns en väl fungerande teknik. Utprovning eller demonstrationer sker istället i situationer där gammal teknik har väsentliga begränsningar.

EMI satsade till en början helt på datortomografi för skallen. Teknikens relativt låga standard gjorde den mest lämplig inom detta område. Här kunde den framgångsrikt illustrera de väsentliga bidrag som den kunde ge i diagnostiken. Den kunde ge bilder av cancertumörer och hjärnans hålrum, något som man tidigare inte kunnat se på röntgenbilder. Det var en inlärningsmiljö, där "ekonomin" var mycket god och därifrån kunde den genom genuin demonstration spridas till nya applikationer och successivt förbättras.

Ultraljudet blev utprovat och utvecklades först för skallundersökningar och senare för hjärtat. Först under 1970-talet, när mikroelektroniken blivit en realitet, blev det möjligt att utveckla apparater med vilka det gick att undersöka organstrukturer i buken med mycket närliggande täthet i vävnaderna. Det är också inom hjärtundersökningar, men framför allt bukundersökningar som ultraljudet har sin största potential. Däremot är skallundersökningar ett mycket marginellt område idag, inte minst på grund av datortomografins tillkomst.

Man måste således undvika att försöka utveckla hela systemlösningar för det framtida huvudsakliga användningsområdet. I stället måste man försöka hitta "ekonomiska övningsfält", där den framväxande och utvecklade tekniken och affärsidén kan gå igenom en första inlärningsperiod. Inte sällan ligger detta första inlärningsfält utanför det framtida huvudsakliga applikationsområdet. Om utvecklingen skall kunna leda till ett framgångsrikt nytt affärsområde är det synnerligen avgörande att söka upp den mest kravställande miljön, där inlärningsmöjligheterna är störst.

Vid satsningen på datortomografen var det nödvändigt för EMI att snabbt etablera sig på den amerikanska marknaden och bygga upp egna resurser där. Denna marknad var dominerande med de främsta konkurrerande röntgenföretagen och också de ledande medicinska klinikerna. Det var en marknad där EMI snabbt utsattes för konkurrens, som hjälpte till att snabbt utveckla kunskap inom EMI om den medicinskt-tekniska branschen. I England, EMI:s hemland, fanns inga konkurrerande företag och ingen marknad där det fanns förutsätt-

ningar för EMI att ställas i relation till en kravställande miljö. En annan sak är att den amerikanska marknaden visade sig vara alltför genomorganiserad och kapitaltung för att EMI skulle kunna lyckas med att etablera sig framgångsrikt.

Datortomografins utveckling inom EMI illustrerar att det även går att utveckla kommersiellt gångbara produkter i en forskningsmiljö. Detta hänger just samman med att man tidigt kom i kontakt med kravställande kunder, inte minst i form av de röntgenläkare som hjälpte Hounsfield under byggandet av prototypen och sedan med klinisk utvärdering.

EMI fick mycket snabbt under utvecklingen av datortomografen kontakt med en reell och kravställande miljö. I utvecklingsarbetet spelade röntgenläkare en avgörande roll för den första tillämpningen inom skullundersökningar och för prototypens konkreta utseende. Datortomografiprototypen kom också att snabbt sättas in i klinisk användning och prövas på reella undersökningar och reella problem. Samma fenomen gäller för kroppstomografen. EMI fick också tidigt kontakt med DHSS i England som dels stödde utvecklingsarbetet finansiellt, men framför allt legitimerade tekniken och tillsammans med EMI utarbetade krav på teknikens säkerhet. Det var också inom väl renommerade forskningskliniker som datortomografen först prövades och där den också fick lösa reella kliniska problem.

Företagets startkultur

Företag har utvecklat specifik kompetens i sin tidigare verksamhet. Dominerande värderingar och idéer hos ledande aktörer och den kompetens och struktur som byggts upp i organisationen benämner Andersson et al (1982) för **startkultur** (ett begrepp utvecklat utifrån Normanns (1975) växtkulturbegrepp). Startkulturen hos de ledande organisationerna i en branschutvecklingsprocess kommer att bestämma drivkrafterna för och inriktningen av den första utvecklingen.

EMI var en organisation med hög kompetens inom forskning och utveckling och hade historiskt drivit ett flertal framgångsrika teknikutvecklingsförlopp. Företaget hade kompetens, organisationsstruktur och personal för att hantera inledningsstadierna av en utvecklingsprocess. Denna startkultur medförde bl a att man lade stor vikt vid att få en tillräckligt hög standard på tekniken innan den lanserades.

Under lång tid befann sig kroppstomografen under utvecklingsstadiet inom EMI, där man arbetade med att reducera exponeringstiden för att eliminera kroppsrörelser hos patienten. Philips och ACTA gick ut med halvfärdiga lösningar för att kunna etablera sig snabbt på marknaden. Här utnyttjade man dels marknads-kännedom och dels en mycket stor efterfrågan som sänkte de tekniska kraven.

EMI lade mindre vikt vid att få en tillräckligt god förståelse av hur det mottagande systemet såg ut respektive hur konkurrerande tekniker relaterades till datortomografen. EMI hade inga marknadsresurser inom medicinsk teknik och därmed inga tillräckligt nära kontakter med det mottagande systemet. Etablerade röntgenföretag hade däremot en startkultur där kontakten med röntgenprofessionen betonades och där existerande teknologier förfinades i nära samverkan mellan industri och röntgenprofession. Dessa skilda startkulturer ger ytterligare belysning åt varför det var EMI som utvecklade datortomografen,

medan samtidigt etablerade röntgenföretag tog över marknaden när det handlade om marknadsföring och att bygga struktur kring teknologin. Annorlunda uttryckt kan man säga att i de faser av utvecklingscykeln där teknikutveckling och prototypbyggnad var de kritiska momenten, dvs präglade av teknologiskt tryck, hade EMI en startkultur som gjorde företaget överlägset. I senare stadier, när den kritiska funktionen var marknadsanpassning, var etablerade röntgenföretags startkultur mera lämplig.

Ett slående drag är att drivkrafterna så snabbt flyttades från ett slags teknologiskt tryck till dominans från marknadskrafterna. Detta sammanhänger med att det var en applikationsteknologi som för röntgenprofessionen var adaptiv och därmed välanpassad för organisationen.

En annan bild ges av ultraljudet, som under mycket längre tid drevs fram av ett teknologiskt tryck och först under 70-talets senare hälft började marknadskrafterna att dominera. Det är också i denna situation som etablerade röntgenföretag gick in på ultraljudsområdet och också hade potential att bli framgångsrika. Skillnaden, inte minst tidsmässigt, mellan datortomografin och ultraljudet förklaras av att ultraljudet var en generell teknologi, som således hade att bygga upp ett mottagande system för att bli accepterat.

En sammanfattning av det embryonala stadiet

Under den embryonala fasen är osäkerheten stor avseende teknisk funktion, ekonomi, marknadsutveckling, etc. Det är inte heller möjligt att via några utredningar eller planering reducera denna osäkerhet fullständigt. En väsentlig del osäkerhet kommer att kvarstå, s k genuin osäkerhet, som endast kan reduceras genom att man gör saker genom att pröva olika lösningar, experimentera och inte minst utveckla affärsidéer i en reellt kravställande miljö. Denna handlingsstrategi medför naturligt att en rad problem uppstår. Det krävs ett risktagande för att utvecklingsprocessen skall kunna leda till ett framgångsrikt nytt affärsområde.

Genombrottsfasen

I takt med att den nya teknologin växer sig starkare uppstår en kamp om resurser och investeringsmedel mellan etablerade teknologier och framväxande nya. Konflikter kan uppstå. Det som tidigare var en marginell teknik på experimentstadiet börjar ställa krav på större resurser, inte minst rent kvantitativa produktions- och marknadsresurser. Stöd av ledande aktörer inom företaget är avgörande i detta skede, dvs fortsatt utveckling måste ges politisk legitimitet. För att ett företag skall våga satsa är det ofta nödvändigt att det större system som den nya teknologin ingår i reducerar osäkerhet genom att ta konkreta steg till stöd för teknologin.

För datortomografin var en mycket snabb acceptans av tekniken det dominerande draget. Genast efter att den presenterats blev den efterfrågad av en internationell röntgenprofession. Tekniken visade sig lösa reella problem inom röntgendiagnostik och gav markant förbättrad information vid skallundersökningar såväl som mindre smärtyllda undersökningar för patienten. Marknaden växte snabbt, främst i USA där röntgenkliniker med hög status via egna utvärderingsundersökningar legitimerade den nya tekniken. Den etablerade röntgenindustrin satsade omfattande resurser för att utveckla egna system.

Detta gällde åtminstone efter det att kroppsversionen blivit en realitet kring 1975.

Datortomografiverksamheten legitimerades och befästes också snabbt inom EMI. Genom stöd av ledande personer i koncernens styrelse satsades på en omfattande utbyggnad av egen produktion med enhet i USA. Man byggde också snabbt upp en omfattande marknadsorganisation för den amerikanska kontinenten.

I genombrottsfasen är det ofta också lättare att reducera osäkerhet. Tekniken har nu visat sin första funktion, det finns en marknadsreaktion att studera. Det finns således vissa data och ett kunnande som företagsledningen kan uttolka.

Röntgenprofessionen reagerade snabbt positivt på datortomografin. Tekniken visade sig fungera väl och fylla en avgörande funktion inom röntgendiagnostik. Marknadsbilden växte fram, där etablering i USA var avgörande för framgång. Man förstod att datortomografin främst var avpassad för stora röntgenkliniker med forskningsinriktning. Bilden av konkurrerande tekniker, dels gamla som angiografi och dels nya som ultraljud och isotopteknik, klarnade.

Trots denna klara bild kvarstod dock fortfarande osäkerhet om teknikens utvecklingpotential och om dess potential inom olika applikationsområden. Inte minst gäller detta för kroppstomografin, där det rådde en del osäkerhet om dess användning för buken och inte minst för hjärtundersökningar. Marknadspotentialen sedd ur ett internationellt perspektiv var också något osäker. Man visste dock klart att efter 1974 - 75 att det i första hand var en teknik för västländer och då främst de med en relativt omfattande privatsjukvård, såsom USA, Västtyskland och Japan.

Viktigt att reducera osäkerhet

I genombrottsfasen reduceras komplexiteten och framför allt antalet olika lösningar. Kravet på planering och rationalisering blir viktigare för att kunna bygga upp en effektiv och lönsam hantering av den nya teknologin.

Snabbt efter att datortomografin blivit en realitet och framför allt efter kroppstomografins tillkomst växte det fram ett stort antal olika tekniska lösningar och system. Omkring 1975-76 fanns uppåt 15 företag med egna system under produktion eller utveckling. Flertalet av dem blev aldrig någon succé utan lades ner eller såldes till i första hand etablerade röntgenföretag. Successivt tog de etablerade röntgenföretagen, som General Electric och Toshiba, över marknaden.

Det viktiga inslaget för framgång var att lyckas med kroppstomografin och att i första hand få tillförlitliga system med god bildkvalitet. Marknadsmässigt var det viktigt att bearbeta större röntgenkliniker i främst de utvecklade västländerna (förutom Japan). Viktiga inslag i marknadsföringen blev utställningar, kongresser och mycket nära kontakter med välrenommerade röntgenkliniker och läkare snarare än marknadsföring via andra kanaler.

Även i denna fas är det av avgörande betydelse att teknologin demonstrerar sin funktion genom genuina projekt och inte i några experimentanläggningar för någon samhällelig institution. Dessa reella demonstrationer är av vikt för

teknologins genombrott. Eventuellt ekonomiskt utvecklingsstöd måste kombineras med ett affärsutvecklingsperspektiv där företaget måste satsa ordentliga egna resurser och söka upp kravställande marknader.

För att kunna bedöma en ny tekniks framgång är det viktigt att tillräckligt väl förstå de främsta kulturella dragen i de utvecklande respektive mottagande systemen. Vad som är ekonomi idag avgörs till stor del av gjorda investeringar i teknologi och organisation. Ett nödvändigt inslag i legitimeringsprocessen av en ny teknologi är att hantera konflikter och politiska processer som uppstår mellan företrädare för etablerad och framväxande system.

Det som var slående i datortomografins utveckling var att etablissemangen snabbt accepterade tekniken och också efterfrågade den. Datortomografen var för den etablerade röntgenprofessionen en teknologi som väl passade in i det sjukhustekniska system som länge var etablerat. Den gav röntgenläkaren nya möjligheter i att diagnostisera allvarliga sjukdomar, främst cancer. Den ställde inte krav på maktomfördelning. Den kunde snarare ses som ett instrument för röntgenläkaren att befästa och kanske stärka sin centrala roll gentemot klinikerna.

Däremot skulle ultraljudet i dess tidiga tillämpning under 1950-, 60- och början av 70-talen sannolikt ha utmanat centrala värderingar och normer inom röntgen. Därför utvecklades ultraljudet länge inom områden där det inte fanns starka eller slagkraftiga röntgendiagnostiska hjälpmedel. Mest slående var detta inom hjärtdiagnostiken, där det endast fanns angiografen, en i och för sig mycket betydelsefull undersökning, men som var smärtsam och behäftad med viss risk för patienten.

Ultraljudet fann således sin första applikation inom ett område där den kunde visa sin potential och framför allt kunde ta sina första lärosteg. Först mot slutet av 1970-talet hade ultraljudet vuxit och visat sin potential inom ett stort antal områden och då fann också röntgenprofessionen det nödvändigt att ta till sig tekniken. Detta ledde till att ultraljudet på ett par år har legitimerats inom svensk sjukvård.

Mognadsstadiet

Efter penetrationsfasen går branschen in i ett mera moget stadium. I detta sista utvecklingsstadium finns oftast inte några drivkrafter för utveckling/förändring från vare sig teknologin eller marknaden. Det har uppstått ett slags balans mellan behov och outnyttjad teknik.

I denna situation kommer ett flertal företag in i svårigheter och lönsamhetsproblem uppstår. I detta utvecklingsstadium ställs krav på ett skickligt företagsledande hos de företag som väljer att stanna kvar i branschen. För lönsamhet krävs en organisering av branschen, med uppköp och nedläggning av tekniker och företag såväl som samgående.

Etablerade branscher som har bas i en gammal teknologi kan därför beskrivas som organiserade strukturer med en stabiliserad problemlösning, d v s förändring och utveckling sker med små steg inom ramen för etablerad teknologi. Röntgenbranschen vid slutet av 1960-talet och början av 1970-talet kan ses som en starkt organiserad struktur med hög grad av gemensam problemlösning, med ett maktssystem som kontrollerade systemet och eventuella "invadörer".

I en sådan organiserad bransch sker också förnyelse i allmänhet genom att aktörer utifrån för in förändringar, ofta under stort motstånd från etablissermanget i den mogna branschen. Schon (1967) har beskrivit detta som innovation genom invasion. Datortomografin, utvecklad av EMI, såväl som ultraljudet illustrerar innovationsutveckling via invasion.

Skillnaden mellan applikations- och generell teknologi belyser mekanismerna bakom fenomenet innovation via invasion.

Det som karakteriserar en mogen bransch är att den är baserad på en mogen generell teknologi, där viktiga impulser för förändring främst kommer från marknaden. Det handlar då om förfiningar inom ramen för existerande applikationsområden och teknologier.

Invasionsfenomenet bygger på nya teknologier, som letar efter existerande eller nya applikationsområden. Drivkrafterna är här främst av karaktären teknologiskt tryck. Det är således två helt olika utvecklingsstadier och miljöer som de invaderade respektive de invaderade organisationerna verkar i och som därmed också ställer olika krav på stödjande organisationsstruktur.

De invaderande teknologierna och organisationerna ger upphov till förändringar av den existerande mogna branschen genom att skapa ny obalans och nya drivkrafter för växt.

Genom invasionen omvandlas en mogen organiserad struktur, av oligopolkaraktär, till en ny växande bransch. Ny internationell konkurrens uppstår, inte minst därför att nya aktörer inte respekterar etablerad marknadsuppdelning, vilket i sin tur tvingar gamla aktörer att svara på den nya konkurrensen.

Datortomografin skapade en omvandling av röntgenbranschen, dels inträdde ett flertal icke traditionella röntgenföretag, vars kompetens baserades på teknik-kunskap, t ex EMI, medan andra nya företag baserade sin entré på marknads-kunskap, t ex läkemedelsföretag. I sin tur ledde detta till att etablerade företag som GE och Toshiba tvingades till en ökad internationell konkurrens för att möta de nya aktörerna.

Inom ultraljudet var det länge främst aktörer baserade på teknikkunskap som gick in i branschen, medan aktörer med främst marknadskunskap väntade med sin entré tills det skapades ett tillräckligt välutvecklat mottagande system med tillräckligt hög marknadsefterfrågan.

Utvecklingslogiker för generella- och applikationsteknologier

Den presenterade branschutvecklingsteorin ger gott underlag för att beskriva datortomografin och ultraljudets utveckling. Samtidigt iakttog vi väsentliga skillnader i utvecklingslogiken, som teorin inte tillräckligt beaktar. Vi skilde tidigare mellan generella- och applikationsteknologier. I detta avsnitt försöker vi utveckla idéer kring ledning av teknologiska utvecklingsförlopp som bygger på denna distinktion.

Den generella teknologin

För att en generell teknologi skall utvecklas är skapandet av kunskapscentra avgörande. För att nå en teknologisk standard så att den kan finna ett

tillämpningsområde krävs ofta rent tekniskt utvecklingsarbete och att lära sig hantera teknologin. I utvecklingen av medicinskt ultraljud var det avgörande att det under 1950- och 60-talen skapades forskningsgrupper i USA, Japan och Sverige där det fanns förutsättningar för teknologin att genomgå en första utveckling. Det var också av största betydelse att få kontakt med företag som utvecklade och tillverkade ultraljud för industriell användning. I det tidiga stadiet handlar det således om att lära sig hantera en teknologi. Detta sker oftast på en rent individuell nivå och ofta utan stöd av organisatoriska mekanismer. Den generella teknologins bärare får således oftast arbeta utanför ordinarie ramar och bristen på organisatoriskt stöd är en faktor som hindrar en snabb utveckling. På detta stadium är det också föga nödvändigt att en hel organisation mobiliseras till stöd. Detta skulle snarare hindra organisationens traditionella och etablerade verksamhet. Därför blir det som sagt ofta enskilda entreprenörer som driver fram idén till en första applikation. Det är en lång process, där det är föga möjligt att kommersialisera teknologin i ett tidigt skede. Detta är en avgörande faktor till varför det till en början inte uppstår företagsetableringar som baseras på den nya teknologin eller att etablerade företag intresserar sig för teknologin. Det finns ingen marknad för teknologin.

Vid utveckling av generella teknologier är det svårt att ur ett företagsledningsperspektiv styra utvecklingen. Den handlar om genuin kunskapsuppbyggnad - oftast på en individuell nivå. Det är svårt att förstå presumtiva applikationer för teknologin. Det är först i sina tillämpningar som en generell teknologi utvecklas och hittar mängden av applikationer. Det handlar således om en marknadspotential som inte går att förutse. Vi behöver bara tänka på datorernas enorma utveckling och laserteknologins applicering inom hundratalet olika användningsområden. En generell teknologi får således en mycket markant spridning och mängder av applikationer. Det är inte möjligt att gå ut och via någon form av marknadsstudie ta reda på vilken potentiell efterfrågan som en generell teknologi har. I datamaskinernas barndom bedömde man att en datamaskin skulle kunna sköta hela behovet i Sverige.

En generell teknologi kommer efter att ha funnit sina applikationer in i en stark tillväxt genom att många nya applikationer utvecklas. Det finns därför förutsättningar för många företag att hitta sin speciella nisch. I en expanderande situation är inte det avgörande att effektivisera produktionen utan snarare att utveckla kunskap och arbeta med teknikutveckling.

Företagsledning handlar således här mycket om viljeinriktning och att organisera för generell utveckling. Det är frågan om vilja till risktagande och att skapa miljöer för forskning och utveckling. Problemet är ofta också hur man skall föra teknologin från ett idé/prototypstadium till en kommersialisering. Detta är en mycket lång process. Det skapas ofta många nya företag som baseras på den nya teknologin och många etablerade företag satsar egna resurser för teknologin. Ett näraliggande exempel är det stora antalet företag som vuxit upp kring Stanford University för produktion och utveckling av mikroelektronik. På samma sätt uppstod det kring ultraljudet under 1960-talet ett flertal småföretag som baserades på ultraljudets medicinska tillämpning.

Strategisk långsiktplanering är oftast ett föga användbart instrument vid utveckling av generella teknologier. Det finns ju inte någon bransch att studera och inte heller vet man vilka de konkurrerande företagen är. Det handlar istället om att utveckla teknologisk kompetens och att kunna bygga upp en

organisation som kan reagera när den snabba expansionen tar vid. De analys-instrument man kan använda i det tidiga idéstadiet är ofta av ren teknisk och ekonomisk karaktär. Vad är det för kunskap som behövs för att lära sig hantera teknologin. Vilka ekonomiska resurser måste sättas in?

Ett centralt inslag i teknologiska utvecklingsförlopp är att det ofta är vissa ledande generella teknologier som är drivkrafter för att ta fram nya applikationsteknologier. Generella teknologier skapar således nya möjligheter för att utveckla ett applikationsområde. För datortomografi har elektroniken varit av avgörande betydelse på samma sätt som det löpande bandet, sett som en generell teknologi, haft avgörande betydelse för produktionsrationalisering och möjligheter att bygga upp storskalig produktion inom ett stort antal områden.

Vissa generella teknologier har närmast karaktär av "metateknologier", d v s teknologier som har ett mycket stort inflytande på hela den teknologiska utvecklingen generellt. Elektroniken är uppenbarligen ett sådant instrument som inte bara ligger bakom utveckling av applikationsteknologier utan också hjälper fram många generella teknologier såsom ultraljudet och datorer.

Applikationsteknologin

När det istället handlar om en applikationsteknologi finns det ett mottagande system som är förberett för att ta emot den nya teknologin och som har normer och en kultur som oftast väl passar för teknologin. Därmed finns förutsättningar för att förstå den och hur den skall användas. Den kan därmed snabbt användas för att förstärka och vidareutveckla den etablerade verksamheten. T ex kunde datortomografin mycket snabbt appliceras både inom skall- och kroppsundersökningar och ge röntgenläkarna ny kunskap vid diagnosställandet.

Det finns ett eller ett par välutvecklade användningsområden, som gör att expansionen stagnerar eller planar ut relativt snabbt. Expansionspotentialen är således generellt mycket lägre för applikationsteknologin. Därmed kommer företag som satsar på en ny applikationsteknologi snabbare in i skeden där produktionseffektivitet blir ett ledande krav. Generationsbytena blir oftast mycket snabba och tar stora resurser i anspråk. För att utveckla den första generationen datortomografer krävdes för EMI någon eller några miljoner kronor, medan den andra och tredje generationens utvecklingskostnader låg på flera hundra miljoner kronor. Detta tycks vara ett generellt mönster att de dryga utvecklingskostnaderna hänförs till de snabba generationsskiftena. Det är inte enbart en fråga om teknikutveckling utan de största kostnaderna hänförs till att arbeta in sig på nya marknader och utveckla produktions- och distributionssystem. Här har därför de etablerade företagen lätt att ta över marknaden från nyetablerade företag. De etablerade företagen har ofta marknadskunskaper och marknadskontakter som gör deras utvecklingskostnader mycket lägre. Det finns därför små möjligheter för nya applikationsteknologibaserade företag att hitta speciella nischer, vilket är lättare när det gäller generella teknologier.

Ledning av applikationsteknologier

För applikationsteknologier finns det klart bättre förutsättningar att bedöma potentialen även på ett prototypstadium. Viktiga faktorer är branschens storlek, karaktär av nationell eller internationell marknad, vilka som är de ledande aktörerna, konkurrerande företags storlek och utvecklingsresurser och om det är en växande eller stagnerande bransch. En annan viktig faktor är hur teknikutvecklingen ser ut inom andra områden av applikationsområdet. Företaget

måste också skaffa sig en bild av kostnaderna för teknikutveckling av olika generationer. Här har man oftast nytta av historiska erfarenheter. Inom t ex röntgenbranschen har generellt utvecklingskostnaderna varit höga, vilket gjort det svårt för nya företag att etablera sig. För att detta skall lyckas har det krävts betydande resurser. Man kan också från historiska analyser få reda på vilka företag som tidigare varit duktiga på utvecklingssidan och har ledande roller i branschen.

En sådan bakgrundsbedömning måste kopplas till företagets vilja att satsa egna resurser. Denna vilja måste relateras till vad det kostar att bygga upp en produktionsapparat, skaffa marknadskontakter, kanske på en internationell nivå. Generellt gäller att det ofta är förknippat med stora svårigheter för ett nationellt baserat företag att snabbt bli duktiga på ett internationellt plan. En faktor till att EMI kom in i svårigheter när efterfrågan på datortomografi stagnerade under andra hälften av 70-talet, var att man tidigare inte hade några som helst erfarenheter av produktion eller marknadsföring av elektronik i USA.

Genom att analysera applikationsområdet kan man också få en bild av vilka krav som ställs på ny personal, att utveckla nytt kunnande osv. Det är oftast mycket resurskrävande att t ex få en organisation att byta "kvalitetsnivå" på sina produkter, t ex för EMI att utveckla produkter för en kommersiell marknad istället för att fungera som kontraktsforskningsorganisation. Det går således för ett applikationsteknologiutvecklande företag att lära mycket genom studium av mottagande system och vad det ställer för krav på en framgångsrik expansion.

Inom väl etablerade system såsom medicinsk diagnosteknik, energi, ståltillverkning etc är det svårt för andra företag att slå sig in. Det visar sig oftast bättre att liera sig med de gamla aktörerna. Dessa har också ofta intresse av att köpa till sig nya teknologier. Ett annat sätt är att sälja licenser, utveckla gemensamma produktionsbolag med gamla aktörer, satsa på gemensamma utvecklingsenheter etc. Eventuellt går det också att utnyttja andra företags marknadsorganisationer. Det gäller att vara medveten om att marknaden för många, kanske de flesta, applikationsteknologier ebbar ut snabbt genom "bristen på applikationer". Därför är det lätt att "övertolka" betydelsen av snabba initiala framgångar. Dessa framgångar kommer just därför att applikationsområdet är väl förberett och applikationsteknologin snabbt kan tillfredsställa vissa väl definierade problem utan att ställa krav på radikala förändringar av etablerade kunskaper, värderingar eller normer.

Stora produktionsinriktade företag i en bransch är oftast också inriktade på utveckling av applikationsteknologier. T ex sysslar de stora stålföretagen, skogsföretagen, eltekniska företagen, bilföretagen med just denna form av utveckling. De är väl förankrade i en viss teknologi, där de lagt ned stora resurser i etablering av produkter. Det går således inte för dem att snabbt "byta fot". De måste istället ha kontinuitet i verksamheten och en viss storlek på produktionen för lönsamhet.

Andra företag kan istället välja ett slags intermediär logik. Det var just fallet för EMI innan utvecklandet av datortomografin. Man hade valt att inte satsa på en djup produktionsförankring, utan arbetade med utveckling inom det på 1950-, 60- och 70-talen starkt växande elektronikområdet. Man sysslade mycket med uppdragsforskning för det engelska försvaret och andra företag. På samma sätt kan andra företag inta en intermediär roll inom växande teknologier såsom bioteknik, etc.

För det intermediära företaget gäller det att liera sig med stora företag efter det att utvecklingsarbetet är färdigt. Man kan arbeta med att sälja patent eller licenser. För ett intermediärt företag blir då inte produktionseffektivitet det viktiga, eftersom man hela tiden arbetar på produktlivscykelns nedersta del, där det snarare handlar om kunskapsuppbyggnad. I det intermediära företaget väljer man medvetet att hoppa av kurvan då det blir dags för att effektivisera produktionen för en ny produkt. Det är också på detta stadium som de stora företagen går in och oftast tar över marknaden, t ex genom att köpa upp teknologin eller utvecklingsföretag.

Företagets startkultur, resurser och kompetens

För att bli framgångsrika i att utveckla nya teknologier är den viktigaste resursen att företagsledningen utvecklar en viljeinriktning. Denna viljeinriktning måste också förankras i hela organisationen. För att bedöma potentialen för detta är det viktigt att göra en bedömning av den egna möjligheten att utveckla nya produkter, d v s av den egna startkulturen. Historiska erfarenheter spelar här en viktig roll. Vilken är företagets speciella kompetens? Ligger den på produktionssidan, kanske marknadsföring eller teknikutveckling. Vad är det för resurser som successivt utvecklats i organisationen? Ett produktionstungt företag som tidigare inte utvecklat nya teknologier ställs det ytterligt stora krav på för att en sådan förändring skall leda till framgång. Det är inte enbart de fysiska resurserna som är vitala utan kanske än viktigare vilka kvalifikationer och erfarenheter som olika personalkategorier besitter. Det gäller att bedöma vad som krävs för att utveckla och lansera en ny produkt. Har företaget personer som kan göra detta?

En framgångsrik väg till ny teknologi kan vara att köpa sig till den. Det finns många storföretag som medvetet använder sig av denna strategi. Det finns ett flertal amerikanska medicinsk-tekniska företag som genom köp skaffade sig resurser inom datortomografi och ultraljud. Den viktiga slutsatsen är att företagen måste inse att de inte kan utveckla excellens längs hela produktlivs-cykeln. Varje företag måste inte driva en teknologi från utvecklingsstadiet till dess mognad.

Planering kontra viljeläriktning

Planering är således ett instrument som inte är enhetligt. Det måste istället relateras till speciella situationer, strukturer och teknisk-ekonomiska logiker.

I vissa fall krävs ett mycket stort inslag av flexibilitet i planeringen, som skall möjliggöra för företagen att snabbt ställa om. Ett kriterium är här att inte binda resurser i låsta positioner. Istället ställs krav på kunskapsinläring, inte bara på individuell utan framför allt på organisatorisk nivå. Konkret visar detta sig i de planeringssystem, värderingar och normer som finns i organisationen. För ett företag som medvetet väljer att ligga tidigt på produktlivscykelns och således syssla med att ligga långt framme i utveckling av teknologier, vore sig det gäller generella- eller applikationsteknologier med hög uppfinningshöjd, är just flexibiliteten ett avgörande kriterium för framgång.

I andra fall innebär beslut av något slag en reell låsning tekniskt, ekonomiskt och socialt i en viss struktur. Ett företag som bygger en stor anläggning för produktion av aluminium gör detta med en mycket långsiktig bindning. Detta

kräver istället för flexibilitet en stark vilja att stanna kvar och bli "bäst" på sin verksamhet. Andra branscher som har denna karaktär är stål, cement och gruvor. Det gäller för företag i dessa branscher att utveckla en överlägsenhet tekniskt och marknadsmässigt så att man skrämmer bort potentiella konkurrenter. Här hjälper oftast stora initialkostnader till. Företag i dessa branscher kan inte snabbt reagera på alla nyheter. Däremot måste de ha beredskap för att ta in en ny teknik eller att bearbeta en ny marknad. För konkurrenterna måste det stå alltför dyrt att gå in i branschen. Denna måste ledas av ett slags avskräckande politik. Inom exempelvis produktion av cement, stål, etc är ingångskostnaderna så stora att det sannolikt finns få företag som inte redan är etablerade som vill gå in på dessa marknader.

Däremot kan man inte bortse från radikalt nya teknologier som kan slå bort grunden för existerande företags verksamhet. Nya byggmaterial och nya sätt att bygga hus kan bli svåra konkurrenter till cementtillverkare. Samtidigt har de etablerade företagen genom sin struktur och marknadskännedom i vissa fall förutsättningar att på ett billigare sätt ta till sig nya teknologier. En nackdel är dock att de har en tung och dyr struktur i de gamla teknologierna. Det är ofta lätt för de etablerade företagen att ta till sig en ny applikationsteknologi, då inlärningskraven här är mycket lägre på individ, men framför allt på organisatorisk nivå. Däremot kan en ny generell teknologi i vissa fall få mycket allvarliga konsekvenser för ett etablerat företag. Den ställer mycket stora krav på organisatorisk förändring. Vid diskussion av ledning av utvecklingsverksamhet är det viktigt att göra en distinktion mellan planering och företagsledning. För svaga företagsledningar kan planering som faller ut i olika beslut genomföras utan någon egentlig koppling till en viljeinriktning eller till dominerande idéer hos ledningen. Däremot hos en stark företagsledning är planering enbart ett underlag för ledningens beslut. Planer måste tolkas och sättas i relation till ledande idéer. Planerna måste således kopplas till en viljeinriktning som företagsledningen måste förankra och institutionalisera i organisationen. För att göra utveckling av nya teknologier till en framgång är just denna distinktion av avgörande betydelse.

Texas Instruments, såsom det beskrivs av Jelinek (1979), är ett företag som väl illustrerar denna skillnad. Man har lyckats skapa ett framgångsrikt administrativt system för att institutionalisera hur man skall leda innovativ verksamhet. Just på grund av svårigheterna med innovativ verksamhet har man måst systematisera denna. Ett explicit planeringssystem skapades. I detta utvecklades en hierarki av mål på olika lång sikt där på ett detaljerat sätt produkter, marknader, program och teknologier definierades. Strategisk planering blev en del av verksamheten på alla nivåer och man ville skapa spänningar genom långsiktiga och kortsiktiga mål på ett decentraliserat plan. Företagets centrala forskningsenhet blev involverad i framtagandet av konkreta produkter tillsammans med ansvariga divisioner. Genom att just formalisera den innovativa verksamheten i ett administrativt system skedde en övergång från individuell till organisatorisk inlärning. Detta skedde genom att systemet institutionaliserades för att sedan kunna generaliseras i organisationen. Just genom att formalisera även innovationsverksamheten försökte man försäkra att systemet tog tag i idéer och förde dem vidare. Samtidigt får man inte glömma att det Texas Instruments är framgångsrika på är att inom ramen för en given generell teknologi, mikroelektroniken, vara ledande på att utveckla nya applikationsteknologier, som man också kommersialiserar.

26. SPRIDNINGSPROCESSEN INOM DEN MEDICINSKA PROFESSIONEN

Vi har hittills främst uppehållit oss vid det utvecklande systemet. I detta avslutande kapitel går vi över till det mottagande systemet. I ett första avsnitt söker vi öka förståelsen för vilka drivkrafter inom den medicinska professionen som låg bakom datatomografins snabba spridning. I ett andra avsnitt kopplas resonemang till den organisationsteoretiska referensram som presenterats i kapitel 2.

Röntgen – en tekniskt präglad organisation

Ur det empiriska materialet framgår att röntgen är en väl fungerande organisation, som mycket framgångsrikt fyller sina uppgifter. Ett slående drag i utvecklingen av röntgendisciplinen är den stora, närmast dominerande roll som olika tekniker spelat och alltjämt spelar. Röntgen har lyckats tillfredsställa många av de diagnostiska önskemål som klinikerna haft. Utvecklingen präglas i betydande grad av ett ömsesidigt kravställande mellan de diagnostiska och kliniska sidorna. När det exempelvis blev möjligt att operativt behandla hjärntumörer skapades behov av bättre diagnosmetoder, ett behov som röntgen kunde tillfredsställa med luftskalle och angiografi på 1930- och 40-talen. Hjärtkirurgins framväxt under 1950-talet skapade också behov av diagnosmedel, där angiografen och kateterisering blev två viktiga hjälpmedel. Under 1970-talet har datortomografen och ultraljudet givit ny diagnostisk kunskap, som satt igång ett omfattande forskningsprogram för att behandlingsmässigt kunna utnyttja all denna nya kunskap.

Det är slående hur hela tiden den tekniska sidan varit dominerande och hur den egentligen aldrig "tömts ur". Naturligtvis har lugnare perioder förekommit så som var fallet precis innan datortomografen utvecklades. Genom denna framgångsrika utvecklingssituation har röntgen successivt kunnat växa sig stor och specialiseras, en faktor som tagit utgångspunkt i allt fler och förfinade metoder. Situationen präglas av en dialektisk utveckling mellan terapi och diagnostik, där spänningarna, när den ena sektorn utvecklats för långt, utlösts via nya medicinsk-tekniska landvinningar inom den andra sektorn. Inte minst har olika kirurgiska specialiteter och röntgen fungerat som två parhästar som lyckats lösa sina uppgifter med medicinsk-tekniska medel.

Det har därmed uppstått få drivkrafter till att utveckla och beakta sociala och psykologiska aspekter i behandlingen. Det är först i de skeden som de rent medicinsk-tekniska medlen inte kan lösa specifika problem som ett slags helhetsperspektiv eller sociala aspekter på patienten blir ledande eller ens viktiga i behandlingsteknologin. Det är ingen tillfällighet att det inom ramen för reumatologi, rehabilitering, långvård, psykiatri, etc först uppkommit krav på andra inslag i behandlingen. Inom dessa specialiteter är den rent medicinska behandlingen (typ operation, medicinering etc) mindre framgångsrik och kan i många fall enbart skjuta upp sjukdomens vidare utveckling (t ex MS, reumatism) (1).

Inom dessa specialiteter har behandlingsteknologier med andra inslag vuxit fram. Rehabilitering med arbetsterapi, sjukgymnastik och omfattande kontakt med och hänsyn till patientens sociala livssituation spelar en viktigare roll i behandlingsarbetet. Dessa discipliner har också organisatoriskt byggts upp för

att hantera denna i jämförelse med kirurgi annorlunda roll. Inte minst är oftast kontakten mellan vårdpersonal och patienter tidsmässigt mycket längre.

Röntgen som en servicedisciplin med mycket stora framgångar gör det möjligt att helt inrikta sig på den diagnostiska uppgiften och bygga en organisation som passar för och med olika tekniker i centrum. Man överlåter till de behandlande specialiteterna att ta hand om sociala och psykologiska aspekter kring patienten. Förutsättningarna är goda för att skapa en organisation som fyller sina "snäva" och väl definierade uppgifter.

Konkret visar det sig i att man inte ger patienten besked om resultat av undersökningen, inte inlåter sig i några längre diskussioner med henne, etc. Det finns alltid en "objektiv" orsak för vårdpersonal att gå i kontakt med patienten, t ex att ge kontrast och injektioner.

En sådan snäv och starkt teknisk inriktad roll som röntgen har förutsätter att någon annan enhet har överblick över vad som görs med patienten och kan säga nej. Detta är inte alltid fallet. Det är inte ovanligt att specialdiscipliner själva tar över kontrollen över patienten under tiden som hon vistas inom dessa enheter. Därmed förloras snabbt något slags helhetsbild av patienten. Detta underlättas av att det finns klara gränser mellan olika specialiteter och att den medicinsk-tekniska utvecklingen snarare "driver fragmentiseringen inåt" resp discipliner.

Den intressanta frågan är här vilken roll som datortomografi har.

Datortomografin är ett instrument för att förstärka röntgenprofessionen och ytterligare öka röntgens bidrag till den medicinsk-tekniska utvecklingen. Med hjälp av datortomografin får man skarpare och mera avgränsade bilder av olika cancerformer, etc. Samtidigt, som behandlats i kapitel 20, är det en metod som har tendenser att ytterligare förstärka vårdpersonalens avskärmning från patienten och än mer inrikta arbetet på den rent diagnostiska uppgiften att ge terapeuten en tillräckligt väl definierad diagnos som underlag för den vidare behandlingen av patienten.

Organisatoriskt passar datortomografin in i den etablerade kulturen med personal som snabbt springer in och ut ur undersökningsrum. Datortomografin gör det möjligt för personalen att ta hand om maskinen, som i sin tur genom sin automatik sköter om patienten. Resultatet blir att personalen avskärmas från patienten.

Datortomografin blir i sin egenskap av automatisk teknik ett utmärkt instrument med vars hjälp personalen kan hantera sin osäkerhet och rädsla inför allvarliga sjukdomar eller till och med döden. (2)

Problemet sett ur ett "datortomografiskt perspektiv" är om tekniken genom sin automatiska karaktär förstärker en avskärmning av personalen från patienterna och därmed ger underlag för en ökad användning av tekniken utan tillräckligt starka motiv. Denna risk förstärks av teknikens humana karaktär i jämförelse med tidigare metoder. På lång sikt är risken att det skapas en situation där det blir allt svårare för någon läkare, vare sig diagnostiker eller terapeut, eller någon annan bland vårdpersonalen, att ta hand om och övervaka patienten ur ett helhetsperspektiv i en ytterligare fragmentiserad och teknifierad organisation.

Denna förkärlek för objektiva teknologier är inte ny inom medicinen. Reiser (1978) har gjort en omfattande studie av olika medicinska diagnosteknikers utveckling. En av de viktigaste iakttagelserna är att det skett en övergång från kvalitativa, personberoende tekniker, till objektiva, lätt kommunicerbara tekniker. Starkast spridning har tekniker som kombinerat mätbarhet, kommunicerbarhet samt registrerbarhet fått. Visuella metoder, inte minst röntgen, har fått snabb spridning i de stadier då man kunnat få fram objektiva resultat, d v s som blir desamma oberoende av vem som ställer diagnos. Inte minst har metoder som bygger på ljud istället för bild haft svårare att spridas genom att de varit personberoende och svåra att registrera resultaten ifrån och därmed svåra att kommunicera med andra. De har inte kunnat få samma kraftfulla organisatoriska stöd för spridningen via kongresser, internationell fackpress och utbildningssystem. Detta i sin tur har lett till att det socio-tekniska systemet i första hand "tvingat fram" rationella teknologier.

Det är intressant att ultraljudet egentligen fick sin starka spridning i det skede då man kunde registrera det på en bildskärm med en tillräckligt god bildkvalitet. Tekniken tog därmed betydande steg mot att bli en objektiv och förutsebar metod som låg i linje med de övergripande starka normer som utbildats under lång tid. Inom röntgen innebar det också att ultraljudet kunde inordnas i röntgenronden, som det viktigaste instrumentet för kontakten mellan diagnostiker och kliniker.

Resultatet av denna långa historiska process har blivit en ökande specialisering inom sjukvården, som tagit utgångspunkt i nya tekniker. Därmed har successivt antalet specialister ökat medan antalet generalister minskat. Denna utveckling kan också avläsas i dagens sjukvårdsorganisation. Discipliner med svaga behandlings/diagnostikern har däremot inte haft samma kraftfulla instrument att basera en tillväxt och specialisering i.

Röntgen som en professionell organisation

Röntgen utgör en professionell organisation inom sjukvården. Detta innebär att teknologin, d v s det medicinska kunnandet, förmedlas via personer med lång utbildning, erfarenhet och med starkt utbildade yrkesnormer.

Den medicinsk-tekniska utvecklingen är till övervägande del klinisk, d v s härrör från professionella aktörers forskning och utvecklingsarbete. Professionella värderingar har stort inflytande både på styrkan i och inriktningen av den teknologiska utvecklingen. Detta innebär att beslut om vilka utvecklingsresultat som skall leda till klinisk användning är professionellt baserade. Via den kliniska utvecklingen finns redan embryon till klinisk användning av en ny utvecklad teknologi.

De professionella aktörernas meritering och status är starkt styrd utifrån de inom professionen utvecklade normerna. Vad som betraktas som viktiga bidrag till det medicinska kunnandet behöver därför inte alltid stämma överens med t ex politikernas kriterier för god sjukvård.

Individuella yrkesutövare tar ofta hjälp av någon medicinsk-teknisk innovation för att uppnå professionell identitet, en förutsättning för meritering. Befordringssystemet avspeglar detta, där unga röntgenläkare hos professorer och överläkare kan "avläsa" tidigare forskningsrön. Ett instrument som datortomografin, och för den del nu också ultraljudet, är utmärkt för att just skapa

förutsättningar för att uppnå denna meritering. En mängd vetenskapliga arbeten baserad på de båda teknologierna har också kommit fram. De fungerar också som ett slags symboler för tillväxten av medicinsk kunskap och legitimerar disciplinens fortsatta utveckling och specialisering.

Hur kan nu detta resonemang kopplas till frågan om datortomografins spridning?

Datortomografin illustrerar hur en ny teknik som introduceras i systemet legitimeras med sina allra bästa effekter och genom hänvisning till områden där den är överlägsen och entydigt bra. När tekniken väl blivit introducerad är det dock svårt att kontrollera att den enbart används på detta det bästa sättet. Detta sammanhänger naturligtvis också med att en ny kraftfull teknik inte bara har potential att komplettera/ersätta gamla tekniker. Den har framför allt potential att skapa en egen efterfrågan genom att ge nya bidrag. Det finns starka professionella drivkrafter att pröva om inte den nya tekniken är lika bra eller nästan lika bra på också andra områden än det vilket legitimerade dess introduktion. Det finns också en professionell drivkraft att reducera osäkerhet i det kliniska beslutsfattandet genom att så långt det går använda de besluts-hjälpmiddel som finns. Detta medför att teknikens användning sprids utifrån sin ursprungligt diagnostiskt eller behandlingsmässigt kraftfulla kärna ut mot en allt vidare periferi av successivt uttunnad diagnostisk och behandlingsmässig användbarhet.

Datortomografin i ett vidgat hälsoperspektiv

Bilden av dominans från medicinsk-tekniskt framgångsrika discipliner förstärks i en sjukvård som saknar tillräckligt välutvecklade övergripande mål som kan konkretisera och inrikta sjukvårdsarbetet. Utan sådana övergripande mål blir det specialiteter med hög status vunnit genom framgångar ur medicinsk-teknisk synvinkel som leder utvecklingen och styr resurserna. Det blir svårare för i dessa dimensioner mindre framgångsrika discipliner att dra till sig resurser såväl personella som ekonomiska.

Sjukvårdspolitik och administratörer blir offer för den specialiserade sjukvården, inte minst i ett fall som datortomografin, en uppenbart framgångsrik teknik och för vilken det fanns få hinder (till viss del ekonomiska) då det saknas övergripande operationella mål att relatera den till.

Uttryckt i ett annat språk kan man säga att det saknas en vårdidéuppsättning (3) på ett metaledarplan, som är vägledande för verksamheten på kliniknivå. Genom bristen på sådana vårdidéer kan inte sjukvårdspolitik och sjukvårdsadministratörer utöva något metaledarskap, d v s utifrån övergripande målsättningar fungera som resurs- och maktomfördelare. (4) Resultatet blir istället att klinikledningarna utformar sina egna vårdidéer som naturligtvis helt baseras på den egna professionens uppgift. Discipliner med starkast förhandlingsposition (ofta discipliner med framgångsrika medicinsk-tekniska instrument) drar också till sig resurser. Kan man då också stödja en expansion i en ny framgångsrik teknik är det lättare att växa. Detta underlättas ytterligare av att olika kliniker och vårdformer inte konkurrerar med varandra.

Med en parallell till företagsvärlden handlar det om ledningen för en koncern, med närmast konglomeratkaraktär, som inte arbetar efter några övergripande strategiska mål, som affärsenheterna måste inordnas under.

Datortomografin är en individinriktad teknik i den individorienterade sjukvården. Den ger därmed få eller inga bidrag på ett övergripande hälsoplan. Den angriper inte orsakerna till cancersjukdomar, bidrar inte till bättre levnadsförhållanden etc. Det är en teknik i slutet av den specialiserade sjukvården som är anpassad för de stora röntgenklinikerna på regionsjukhusen. Något instrument för primär- eller distriktsvård är den inte.

Framgång i tekniskt hänseende under 1900-talet, både diagnostiskt och behandlingsmässigt, har medfört en allt mer ökad betoning på individuell hälsovård, som fått till följd att gapet mellan allmän och individuell hälsovård ökat.

Samtidigt ser vi en samhällsutveckling där ålderssjukdomar blir en allt större och viktigare grupp, där omvårdnad snarare än bot är viktigt. Cancersjukdomar i allt lägre åldrar pekar på behovet av en förebyggande hälsovård. (5)

Satsningen på att bygga ut primär- och långvården inom svensk sjukvård kan eventuellt ses som ett tecken på att det börjar växa fram något slags sjukvårdsmål på en övergripande nivå, som kan bli ledande för den framtida inriktningen av vården. En annan sak är om det utvecklas operativa mål och styrinstrument som kan vägleda i bedömning av en specialteknik som datortomografin.

Den annars dominerande individorienterade synen på hälsa är en del av det etablerade värdesystem som präglar västerländsk kultur och som ger status och resurser till discipliner som är framgångsrika på att utveckla medicinen längs dessa aspekter.

I primitiva samhällen var däremot hälsa/sjukdom nära förknippat med andra samhällsinstitutioner såsom religion och moral. (6)

Medicinen har fått rollen att bota och förhindra sjukdomar och givit den en snäv definition. Det är den medicinska professionen som bestämmer de sociala definitionerna på hälsa och sjukdom. Medicinens utveckling till en vetenskap har gjort att läkare ser sig som vetenskapsmän och koncentrerar sig på organfunktioner och litar främst på och strävar efter mätbarhet, observerbara effekter, etc. En instrumentell syn på kroppen har varit dominerande och underlättat utvecklandet av en vetenskaplig medicin.

Utbildningen av medicinska studenter medverkar till att bygga upp en fragmenterad syn på kroppen, som bestående av delar/organ som hör till olika specialiteter. Det är först sent under utbildningen som studenterna kommer i kontakt med "hela patienter" och framför allt discipliner som psykiatri, åldersvård, etc. Det skapas små eller inga möjligheter att beakta/hjälpa i termer av sociala och psykologiska faktorer. Uppmuntran ges åt forskning inom områden med snabba och synbara resultat även om de ur ett större hälso-perspektiv spelar liten roll.

Samtidigt har många hälsoproblem samband med narkotika och alkoholproblem, alienation genom torftiga arbetsmiljöer, dvs hälsa/sjukdom är till stor del en produkt av vårt samhälle och sätt att leva. Här har en snävt vetenskaplig medicin föga att erbjuda genom att den ställer sig neutral till dessa samhällsproblem. (7)

Datortomografin och ultraljudets spridning - försök till en organisationsteoretisk jämförelse

Denna studie har följt datortomografin och ultraljudet in i de sociala sammanhang där de tillämpas. En teknologi är ett instrument för socialt handlande, som hjälper till att lösa vissa problem och tillfredsställa behov. En ny teknologis utveckling och spridning medför etablerande av ett socio-tekniskt system (8). Teknologier och sociala och kulturella element kan inte sättas samman hur som helst, utan måste väljas så att de stödjer varandra. I vissa fall är det inte möjligt att ta in en teknologi i ett socialt system utan krav på mycket omfattande förändringar av teknologin eller de sociala kulturella elementen. Inom väletablerade sociala system ställs oftast krav på förändring av teknologin och om detta inte är möjligt används den inte eller endast i starkt begränsad form.

För en framgångsrik etablering krävs oftast: (9)

- o kompletterande och stödjande teknologier
- o organisatoriska och institutionella komponenter
- o en konceptuell modell
- o efterfrågan av något slag från offentligt håll eller från marknadskrafter.

Allmänt tycks gälla att ju mer en ny teknologi avviker från komponenterna i det sociala systemet, desto lägre sannolikhet för att ett socio-tekniskt system som använder den nya teknologin etableras. Den bristande överensstämmelsen i förhållande till existerande institutionella och organisatoriska arrangemang ligger i det sociala systemets regler och policys, tekniska standard, professionella kunskap och struktur, andra teknologier etc.

En för ett socialt system starkt avvikande teknologi är oftast inte möjlig att på kort sikt förändra så att den passar in. Det är därför sociala element som måste förändras om teknologin skall bli etablerad. För radikala förändringar krävs att breda sociala rörelser sätts igång vilka får tillräcklig makt att genomföra förändringar. En grupp aktörer, i Normann's (1975) termer signifikanta aktörer, behövs som upplever ett behov av att använda en ny teknologi och som är beredd på de sociala krav som ställs på organisatorisk förändring. Utan skapande av sådana krafter kommer sällan teknologier som kräver radikala förändringar till användning.

En ny teknologi måste således sättas i relation till ett visst socialt system, med en viss struktur och historia, för att man skall kunna förstå specifikt bristande överensstämmelse mellan en teknologi och ett socialt system.

Det finns ett flertal faktorer som hindrar utvecklingen och accepterandet av en ny teknologi. Dessa är speciella i varje konkret situation och är förknippade med historiska, sociala, kulturella, strukturella och materiella förhållanden. De måste därför kartläggas i varje situation för att ge förståelse kring ett specifikt händelseförlopp.

Finns kulturella barriärer som en ny teknologi måste komma över är sannolikheten mycket låg för succé om teknologin och det socio-tekniska systemet starkt avviker från varandra i sätt att lösa problem eller tillfredsställa behov.

Är dessutom teknologin komplex till sin karaktär och finns det inte någon aktör som kan översätta idéer till en konkret verklighet med kända värden ges små möjligheter till framgång. En ny teknologi har att konkurrera med existerande sätt att lösa olika problem på.

Den drivande aktören måste ha eller kunna erövra makt. Olika teknologiers spridningsförlopp kan delvis förstås i makftermer. För att en "överlägsen", etablerad teknologi skall ersättas av mindre effektiva krafter krävs det någon form av hot eller spänningar utifrån. Radikalt nya teknologier ställer krav på förändringar av värderingar och normer som finns etablerade i det socio-tekniska systemet. Förändring av dessa utmanar rådande maktsystem, där ledande aktörer ofta byggt upp det etablerade socio-tekniska systemet.

Detta innebär inte att alla teknologier stöts bort, tvärtom finns det massor av exempel på att nya teknologier absorberas av etablerade system. Dator-tomografin är ett exempel på detta. En ny teknologi kan ligga väl i linje med den existerande kulturen och göra det möjligt att förfina och fördjupa denna. I en sådan process finns utmärkta tillfällen att utnyttja den nya teknologin som språngbräda. I ett professionellt system som röntgenprofessionen finns tillväxt via nya metoder och teknologier institutionaliserad. Hela det internationella röntgensystemet, med företag och läkare i nära samarbete illustrerar detta.

Datortomografins snabba genomslag på ett internationellt plan kan endast förstås om man beaktar att det inte var någon eller några enskilda människor som spred den. Istället är det ett väl etablerat socialt system som i dator-tomografen fann en mekanism för ytterligare förstärkning av systemet. Det finns då sedan länge väl utvecklade mekanismer för informationsspridning både lokalt, regionalt, nationellt och internationellt. I ett sådant väl utvecklat system med till mycket stor del gemensamma värderingar inriktas teknik-utveckling och forskning på gemensamma områden medan områden som ligger utanför inte ges tillräckliga resurser. Befintligt socio-tekniskt system, uppbyggt under lång tid, påverkar i betydande grad vilka teknologier som tas emot.

Röntgen "bärs fram" av en internationell röntgenprofession under ledning av röntgenläkare vid kända forskningskliniker. Här har väl etablerade tekniker som angiografi och genomlysning av buken utvecklats och satt sin prägel på hela det socio-tekniska systemet och gett makt och status åt sina uppfinnare.

En ny teknologi hindras inte i och för sig för att den ställer krav på nya kunskaper. Tvärtom, röntgenorganisationen har en struktur som möjliggör forskning och ett väl etablerat utbildningssystem. Däremot är dagens teknologier insatta i en organisatorisk struktur, som "väljer ut" teknologier av intresse.

För röntgenorganisationen hade däremot medicinskt ultraljud inget att erbjuda i de tidiga skedena, då tekniken var föga utvecklad och gav bilder som i röntgenläkarens termer hade mycket låg kvalitet. Röntgenmetoderna gav goda bidrag och det fanns inget i situationen som pekade på behov av förändring.

Ultraljudet skulle för röntgen medföra krav på inläring av annat slag och förändring av det rådande socio-tekniska systemet. Det är närmast denna form av förändring som Argyris & Schön (1978) benämner "double-loop learning". För en sådan förändring fanns ingen aktör med vare sig makt eller energi.

Det behövs en koalition av aktörer som kan förändra komponenter för att underlätta en ny teknologisk produktion och spridning. I denna process är stöd, belöningar, sanktioner viktiga som drivkrafter. Det räcker inte med enbart teknisk-ekonomiska faktorer för att tillräckligt väl förstå utveckling och spridning av en ny teknologi. Det finns ofta grupper av aktörer som försöker hindra utveckling och spridning av sådana teknologier som kräver makt och kunskapsförskjutningar. På så sätt skapas oftast konflikter och blockeringar.

Att bygga upp ett nytt system innebär att generera och testa en variation av innovationer, att lösa en samling problem och utveckla ett eller flera socio-tekniska system. Det är olika aktörer som innoverar i olika stadier av processen avseende utveckling, produktion, marknadsföring, organisering, osv. Denna process karakteriseras av stor osäkerhet och leder till många oväntade konsekvenser. Det ställs krav på öppenhet gentemot förändring. Planering som bygger på förutsägelse och kontroll är ej möjlig i en sådan situation. Det är snarare en läroprocess där osäkerhet reduceras genom konkret handlande och inte via utredning och planering. Det gäller istället att testa och utvärdera en innovation och att utforma förhållandena så att inlärning och innovativt beteende maximeras. Först när aktörerna har arbetat sig igenom den kreativa och lärande processen och lärt hur det nya socio-tekniska systemet kommer att se ut kan de börja planera och leda systemet som ett slutet system. Vi har alltså två karakteristiskt skilda problemlösningssformer, där den första karakteriseras av sök-lär-process och den andra av planering och ledning. Den förra formen avser oförutsedda situationer med inslag av förändring av etablerade system, medan planeringsfilosofin kan appliceras på etablerade socio-tekniska system med konkreta mål i sikte.

Vi diskuterade i kapitel 24 utifrån två olika klassificeringar av teknologier/innovationer, dels generell-applikation och dels radikal-adaptiv. Den första distinktionen tar utgångspunkt i teknologins tillämpningsområden och huruvida det finns ett utvecklat socio-tekniskt system. Den andra distinktionen är relaterad till teknologins förändringskrav på organisationen, såväl utvecklande som mottagande. Bägge klassificeringarna behövs för att kunna ge en tillräckligt nyanserad bild av de båda teknologiernas förankring inom den medicinska professionen.

I vissa fall behövs endast begränsade förändringar av teknologi eller socialt system. Teknologin kan mer eller mindre sättas in inom existerande institutionella ramar, dvs är av adaptivt slag. I andra fall krävs mer betydande omändringar av sociala komponenter för att kunna introducera, använda och sprida en ny teknologi. Det gäller att skapa ett nytt socio-tekniskt system. I dessa fall handlar det oftast om introduktion av en ny generell teknologi, som har radikal karaktär för mottagande organisation. Naturligtvis är det inte frågan om två klart skilda grupper utan snarare en successiv övergång. I vissa fall kan det krävas förändring på samhällsnivå, t ex ny lagstiftning för att möjliggöra införandet av nya teknologier. Detta har varit fallet vid vattenkrafts- och kärnkraftssystem.

Några sådana banbrytande omändringar som för kärnkraften behövdes inte för datortomografin eller ultraljudets acceptans. Däremot ställde ultraljudet större krav på förändring av det socio-tekniska systemet röntgen än vad datortomografin gjorde. Framför allt krävdes att röntgenprofessionen utvecklade ett helt nytt sätt att se kroppen, där etablerade anatomikunskaper var till föga hjälp. Ultraljudet krävde också förändringar i sättet att diagnostisera, med krav

på att läkaren till stor del utför undersökningen och diagnostisering vid samma tillfälle. Ultraljudet är inte någon "fotografisk metod" utan ställer krav på skicklighet hos läkaren för att möjliggöra användbara bilder.

Den dynamiska konservatism enligt Schön's terminologi (1967) som röntgenprofessionen länge visade upp gentemot ultraljud var logisk med utgångspunkt från dess egen synvinkel. En skeptisk inställning till nyheter i ett etablerat och välfungerande socialt system är naturligt. Det fanns från röntgenprofessionen ingen anledning att utveckla ultraljudet i dess tidiga skede. En annan sak är att det även fanns enskilda röntgenläkare som engagerade sig i ultraljudets utveckling. Här har vi att göra med handlande på en rent individuell nivå, som ofta tosin försiggår utanför normala ramar. Datortomografins utveckling däremot illustrerar ett handlande som sker med stöd av ett socio-tekniskt systems hela struktur.

Däremot kunde ultraljudet hitta en ingångspunkt inom hjärt- och fosterdiagnostik, genom att det egentligen inte utmanade några centrala värderingar i dessa sociala system. Tvärtom kunde ultraljudet utnyttja de spänningar som uppstått mellan terapeutiska och diagnostiska möjligheter inom hjärtsidan. Genom nya operationsmetoder hade det skapats ett behov av en ny diagnostik-teknik. För att lösa upp denna spänning blev ultraljudet ett viktigt instrument.

Utvecklingen av ultraljud försiggick utanför och utan stöd av en organisatorisk struktur. Det fanns länge inga företag med i bilden och pionjärer som Hertz och Edler arbetade i laboratorieskala med den egna energin som viktigaste stöd. Spridningen skedde till en början mellan individer, ett antal entreprenörer som i ultraljudet såg en potentiell möjlighet att tillfredsställa någon oro och kanske längre fram utveckla en profession kring. Vid spridningen av ultraljudet handlade det mycket om att göra organisatoriska genombrott istället för att utnyttja en redan stark organisation som spridningsinstrument. Därmed utvecklades och spreds ultraljudet runtomkring de etablerade och starka diagnostiska socio-tekniska systemen. Uttryckt i Schön's (1967) termer använde ultraljudet ett slags "gerillastrategi" och förflyttade sig mot röntgendisciplinen utifrån periferin.

För ultraljudet fanns inget socio-tekniskt system utvecklat, utan snarare en första samverkan mellan entreprenörer, som successivt strävade efter att etablera ett sådant system. I arbetet med att etablera, testa och komplettera en teknologi växer ett socialt system fram kring teknologin. I en sådan period finns hög grad av osäkerhet om kvalitet, kostnader, möjligheter till framgång osv. För en ny generell teknologi kan denna process ta lång tid, som för ultraljudet. Rent tekniskt-ekonomiska faktorer spelade också en avgörande roll för ultraljudets framgång med elektronikens utveckling som drivkraft.

För ett etablerat system som röntgen blir det naturligt att hålla sig till teknologier som är förutsägbara, vilket datortomografen var i ett mycket tidigt skede, och som dessutom kräver lite förändring av centrala värderingar och normer. Först då ultraljudet utvecklat en mycket hög kvalitet i bildåtergivningen accepterades det av röntgenprofessionen, den övergick från att vara radikal och blev adaptiv. Röntgenprofessionens slutliga accepterande av ultraljudet är således inget exempel på någon organisatorisk inlärnin g av "double-loop" karaktär.

En ny teknologi värderas också i förhållande till problem formulerade i existerande struktur. En generell teknologi av radikalt slag ger osäkerhet om

framtida potential och hur det sammanhang vari den skall ingå kommer att se ut. Utvecklingstiden blir lång, då det inte bara gäller att få tekniken att fungera utan att skapa ett helt socio-tekniskt system, med tillverkare, utbildning av specialister och integrering av tekniken i ett organisatoriskt sammanhang som viktiga inslag. För ultraljudet gällde det att få en plats i en diagnos och behandlingskedja. Utvecklingen blev hindrad inte enbart av teknisk-ekonomiska faktorer utan till stor del också genom politiska processer, där företrädare för etablerade system försöker undvika förändringar av den status och maktstruktur som byggts upp kring ett etablerat socio-tekniskt system.

27. EPILOG

Detta arbete har, utifrån en fallbeskrivning av datortomografin och ultraljudet, behandlat teknologiska utvecklingsförlopp. En viktig utgångspunkt var att studera teknologiutveckling i ett organisations- och branschutvecklingsperspektiv och att belysa/behandla såväl utvecklande som mottagande system, företag och bransch, såväl som den medicinska professionen eller åtminstone de delar som berörs av den nya teknologin.

Med dessa utgångspunkter var det väsentligt att utveckla begrepp som stod i överensstämmelse med ett sådant syfte. Många existerande teknologibegrepp hade dålig koppling till ett affärsutvecklingsperspektiv, dvs vilken roll som teknologin kom att spela på en marknad och vilka krav den ställer på olika organisationer för att utvecklas till ett framgångsrikt affärsområde.

Mellan datortomografin och ultraljudet fanns väsentliga skillnader i deras utvecklingsmiljöer och utvecklingslogiker som distinktionen generell- applikationsteknologier var användbar för att förklara.

För datortomografin, sedd som en applikationsteknologi, fanns ett välutvecklat socio-tekniskt system där den kunde få en tillämpning. Den fick därmed snabb marknadskontakt och tidigt viktiga drivkrafter från marknaden.

Ultraljudet, som en generell teknologi, måste först utveckla/finna ett applikationsområde. De viktigaste drivkrafterna kom till en början utifrån ett slags teknologiskt tryck.

I dessa skillnader fanns viktiga förklaringar till EMIs framgångar i det tidiga stadiet, men också att företaget så snabbt kom in i svårigheter. Etablerade röntgenföretag hade med sina nära marknadskontakter och utvecklade marknadsresurser överlägsenhet i att hantera genombrotts- och mognadsfaserna.

En generell teknologi växer ofta fram inom ramen för icke-affärsinriktad forskning. Avsaknaden av marknadskontakt och den höga osäkerheten om framtida tillämpningsområden gör det svårt och inte nödvändigt med nära koppling till den utveckling som sker för existerande affärsområden.

En applikationsteknologi och förfining av denna måste snabbare ha marknadskontakt och relateras till utvecklingsarbetet inom existerande affärsområden. Att datortomografin, som en applikationsteknologi, utvecklades inom EMIs centrala forsknings- och utvecklingsenhet var närmast ett misstag i EMIs utveckling av nya generella teknologier baserade på elektronik.

Med hjälp av begreppet intermediärt företag kunde vi beskriva kompetensen inom EMI eller annorlunda uttryckt företagets startkultur. EMI illustrerade hur ett företag utvecklat specifik kompetens att hantera de första faserna av en utvecklingscykel, men samtidigt inte alltid följde med en utvecklad teknologi genom hela utvecklingscykeln. Att ett företag kan fungera på detta sätt beaktar t ex inte Porter (1980).

Vi kunde sedan förstå EMIs svårigheter med hjälp av begreppet startkultur. I satsningen på datortomografin krävdes en förändring av företagets kompetens och viktiga värderingar eller t o m av företagskulturen.

Utifrån en analys av EMIs och etablerade röntgenföretags forskning- och utvecklingsmiljöer fann vi det viktigt att diskutera FoU ur ett affärsutvecklingsperspektiv. Begreppen affärsstödjande och genombrottsforskning hade högt förklaringsvärde av respektive företags agerande och framför allt för vad slags kompetens och vilka resurser som behövdes för att lyckas med att omvandla en ny teknik till ett lönsamt nytt affärsområde. I det ena fallet handlade det om att integrera nya produkter i existerande affärsområden, i det andra att utifrån en ny produkt bygga upp ett nytt affärsområde.

Vi försökte också se om Argyris & Schön (1978) begreppsdistinktion i "single och double loop learning" kunde ge ökad förståelse för de förändringar som en ny teknologi ställer på en organisation. Så mycket kunde vi konstatera att för EMI att lyckas etablera sig som ett framgångsrikt medicinskt-tekniskt företag hade det krävts förändringar av närmast "double loop" karaktär. EMI lyckades inte med denna omvandling, vilket gör det svårt att säga något om vad som krävs för en sådan förändring.

Det var också viktigt att skilja mellan å ena sidan generell-applikations-teknologi och å den andra radikal-adaptiv teknologi. Den senare distinktionen baseras på de förändringskrav som en ny teknologi ställer på utvecklande respektive mottagande organisationer.

I många fall är det så att en applikationsteknologi är adaptiv, dvs ställer små krav på förändringar av organisationen eller maktförskjutning från ledande aktörer. Som visats i fallen datortomografi och ultraljud kan dock en teknologi, såväl generell som applikations, övergå från radikal till adaptiv karaktär för en specifik organisation. För EMI var datortomografin till en början av adaptivt slag, men utvecklades snabbt till en radikal teknologi, medan den för röntgenföretagen ursprungligen var radikal, men snabbt övergick till att bli adaptiv. På samma sätt var ultraljudet för röntgenföretagen ursprungligen radikal, men adaptiv efter det att teknologin accepterats av röntgenprofessionen. Detta fenomen fann vi att Normanns (1975) begreppspar variation-omorientering inte klarade av att tillräckligt nyanserat beskriva.

Begreppsparen generell-applikation respektive radikal-adaptiv kunde också med framgång användas för analys av datortomografins och ultraljudets skilda spridningsförlopp inom den medicinska professionen.

Utifrån en god förståelse för viktiga normer och värderingar inom röntgenprofessionen skapades underlag för att förstå den snabba acceptansen av datortomografin, medan ultraljudet länge sågs som en perifer och föga intressant teknologi. Med begreppen radikal-adaptiv teknologi kunde vi sammanfatta de krav på organisatorisk förändring som ställdes.

BILAGA 1

ALLMÄN HISTORISK BESKRIVNING AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT

1917	Radon visar att ett två- eller tredimensionellt objekt kan rekonstrueras från dess projektioner.
början 1920-talet	Tomografitekniken uppfinns, dvs att ta fotografiska skivsnitt.
1938	Första applikationen av avbildande rekonstruktioner i röntgen-diagnostik visas av Gabriel Frank.
1951	Hounsfield anställs vid EMIs centrala forskningsenhet.
1950-60- talen	Hounsfield arbetar med utveckling av den första brittiska affärs-datorn.
1956	Principen om rekonstruktion appliceras på radioastronomi av Bracewell.
1955-63	Cormack arbetar fram matematiska teorier om rekonstruktioner och applicerar dem på röntgen.
1960-talet	Oldendorf beskriver en metod med vilken tvärgående snitt med olika tätheter kan avbildas. Cameron och Sorenson applicerar rekonstruktionsteknik på levande materia.
1967	Hounsfield är engagerad inom mönsteridentifikationstekniker och datalagringstekniker. Hounsfield får en idé om att kombinera mönsteridentifikation och datorer med gammastrålning.
1968	Hounsfield gör matematiska beräkningar utifrån sin idé och blir övertygad om dess bärkraft.
1968-69	Hounsfield bygger en testbänk inom EMI och undersöker olika material. EMI söker stöd för sin idé. Får ett samarbete med Department of Health and Social Security (DHSS).
1969	Test av olika biologiska prover. I utvärderingsarbetet deltar tre radiologer, Ambrose, Doyle och Kreel.

- jan-feb
1970 DHSS och utvärderingskommittén inom denna beslutar att satsa på byggande av en prototyp. Den skall konstrueras för undersökning av skallen. Finansiering delvis genom DHSS.
- feb 1970-
april 1971 I nära samarbete mellan EMI, DHSS och radiologen Ambrose konstrueras och byggs en prototypscanner inom EMIs centrala forskningsenhet.
- aug 1971 Prototypen transporteras till Atkinson Morley's Hospital, London.
- 4 okt 1971 Den första patienten undersöks i maskinen. Genast avslöjas en cystisk tumör i hjärnan.
- Datortomografen levererar sensationella bilder där bl a ventrik-
lar, hematom och tumörer kan urskiljas.
- Tekniken ger en korrekt avbildning av de skikt man önskar se.
Mycket små kontrastskillnader kan urskiljas.
- Tekniken består av en scanner, där patienten undersöks, en dator
som beräknar och lagrar bilden samt en display-enhet som är
avsedd för presentation och analys av de framställda bilderna.
- Första generations apparattyp. Den består av en röntgenstråle
och en röntgendetektor. För varje translation registreras en
projektion. Apparaten har scanningtider på flera minuter.
- Tre fördelar tas fram:
- Förmåga att ge en korrekt avbildning av ett transversalskikt.
- Den har mycket högre kontrastkänslighet än konventionell rönt-
genteknik.
- Vid strålbehandling kan större exakthet nås vid lokalisering av de
områden som skall bestrålas.
- Våren 1972 Första rapporterna om CT börjar komma.
- Man blir uppmärksam på att det går att röntga hjärnan utan
kontrastvätska. Det är en noninvasiv teknik. Man tror att den
kommer att kunna ersätta de besvärande och riskfyllda luft-
skalle- och angiografiundersökningarna.
- 1972 EMI CT 1000 visas offentligt första gången.
- nov 1973 EMI säljer 50 system det första året.
- 1974 feb ACTA kroppstomograf installeras vid Georgetown University,
Washington.

Detta är den första helkroppstomografin i världen.

Mera omfattande erfarenheter vad gäller skalltomografi börjar komma.

1974 juni GE börjar tillverkning av CT. Siemens installerar sin första CT vid universitetssjukhuset i Frankfurt.

Ett stort amerikanskt forskningsprojekt avseende hjärntumör startas i USA. Det anses ha satt igång en stark efterfrågan på den amerikanska marknaden.

EMI startar dotterbolag i Chicago.

1974 nov Ohio Nuclear Delta Scanner avsedd för hela kroppen installeras vid Cleveland Clinic i USA.

1975 jan 160 CT har sålts i USA. Av dessa är 150 av märket EMI.

1975 sept 412 CT är beställda i USA, av dessa är 166 redan levererade.

EMI utvecklar sin första tomograf avsedd för hela kroppen. Den installeras på Mayo Clinic, Rochester och på Mallinckrodt Institute, St Louis. Prototypen går till Northwick Park Hospital, London.

1975 sept-nov Ett stort antal firmor annonserar tillverkningsprogram för CT. Bland dem finns Picker, General Electric och Philips.

EMI kommer med en andra generation av skallscanner.

Denna andra generation använder sig av flera röntgendetektorer, som var och en registrerar en stråle från röntgenröret. Man får på så sätt lika många projektioner simultant som antalet detektorer.

Avsökningstider på 20-60 sekunder.

Antalet translationer kan då reduceras och vridningen mellan varje translation bli större.

Kroppstomografin börjar bli ett klart realistiskt alternativ.

1976 juli En stor upplagd rapport om CT och dess kliniska erfarenheter publiceras i American Journal of Roentgenology.

Nu vet man att helkroppstomografi har en stor betydelse för lokalisering av tumörer i vissa organ. Stor satsning på forskning är nödvändig.

EMI satsar på egen produktion i USA.

- 1976 GE i USA visar utvecklade modeller av helkroppsdator-tomografer.
- 17 olika företag har tillverkning av CT.
- 1976 Tredje generationen av CT kommer fram. Den består av ett mycket stort antal detektorer. Strålknippen från röntgenröret täcker hela objektskivan. Man roterar hela anordningen runt patienten. Avsökningstider på 4,5-10 sekunder.
- 1978 Planer på att gå över till tillverkning av enbart helkroppstomografer. För dyrt att hålla två olika modeller.
- USA har mobila CT-enheter monterade på en landsvägstrailer. Dessa kan sedan hyras in av mindre sjukhus för en kortare period.
- Regleringar i USA. Begränsningar i antalet CT för visst patientunderlag för ersättning från offentliga försäkringssystemet.
- 1978 En fjärde generation av CT håller på att utvecklas. Den skall kunna arbeta med millisekunder. Den får sin främsta nytta vid undersökning av hjärta. Behov av mycket korta exponeringstider.
- Man anser allmänt att den snabba utvecklingen nu går in i ett lugnare skede. Ett flertal företag på väg att lämna branschen.
- 1979 Ett 15-tal olika tillverkare har satsat på CT.
- Ca 2.500 system i hela världen. Hälften i USA. 500 i Japan.
- 1979 nov EMI går samman med Thorn Electric på grund av stora förluster på CT och musiksidan.
- våren
- 1980 GE övertar EMIs serviceverksamhet inom datortomografi.
- 1981 Pfizer drar sig bort från datortomografimarknaden. Ca 4500 system i hela världen. Regleringarna i USA försvinner och marknaden växer åter.

BILAGA 2

HISTORISK UTVECKLING AV DATORTOMOGRAFIN I SVERIGE

- Våren 1972 Första erfarenheterna av skalltomografi kommer till svensk kännedom.
- aug 1972 Professor Greitz tar del av CT på en utställning i Bologna. Han blir mycket imponerad. Får genast tankar om en svensk anskaffning.
- okt 1973 Första svenska datortomografen installeras på Karolinska sjukhuset.
- april 1974 Datortomograf för skallen installeras i Umeå. Detta är den andra i Sverige.
- 1976 Beslut i Malmö om anskaffning av helkroppstomograf. Tas i drift hösten 79.
- Order på skalltomograf finns från sjukhusen i Lund, Linköping och Uppsala.
- SPRI 8/76 rapport som presenterar datortomografi. Denna är en allmän översikt över tekniken.
- Senare kommer en SPRI-rapport 9/76 som gör en närmare ekonomisk bedömning av skallscannern.
- Omkring -76 gjordes ca 2.200 luftskalle- och ca 11.700 angiografiundersökningar (för skallen) i Sverige. I -76 års penningvärde var de beräknade till en kostnad av 3.500 kr respektive 2.200 kr per styck.
- I -76 års penningvärde och med en avskrivningstid av tio år och åtta undersökningar per dag ges en kostnad av 375 kr per datortomografisk undersökning.
- Vanliga siffror är en minskning vad gäller luftskallar med ca 80-90% och för angiografier med ca 50%.
- 1976 Vid Atkinson Morley's Hospital i England var minskningen 90 respektive 50%.
- Ett sjukhus i Boston i USA har rapporterat att man helt upphört med luftskalle- och angiografier.
- Vissa studier pekar på en kostnadsrelation mellan CT, angiografi och luftskalle på 1:10:16 (Uppsala univ.) medan andra visar på 1:7:11 (SPRI).

För hela landet kan en kostnadsbesparing av ca 15 milj per år erhållas om minst 70% av luftskalle- och 50% av angiografiundersökningarna kan ersättas med CT.

Sammanfattning:

- Ersätter mer kostnadskrävande metoder.
- Omfördelar personella resurser.
- Får effekter på belastning av vårdavdelning och personalens arbetssituation.
- Kvalitativa aspekter.
- Värdet av en smärtfri undersökningsform.
- Reducerad risk.
- Snabbare information om patientens tillstånd.
- Nya diagnostiska möjligheter.
- Eventuella möjliga terapeutiska förbättringar.

Karolinska sjukhuset får en helkroppstomograf av märket Siemens. Den är behäftad med många fel.

1977

SPRI-rapport 15/77 publiceras där en detaljerad genomgång ges av helkroppsdatortomografi. Professor Nordenström ger en relativt negativ beskrivning av CTs betydelse för diagnostisering av bålén med CT.

Beroende på vald avskrivningstid ges en kostnad per undersökning av:

887 kr vid 3 års avskrivning
702 kr vid 5 års avskrivning
566 kr vid 10 års avskrivning

- För bukspottskörteln kunde CT i 80% av fallen korrekt verifiera ett sjukdomstillstånd.
- Vad gäller levern kunde i motsvarande fall CT fastställa diagnos med 96% säkerhet.
- Förändring i ryggradens ben och bröststruktur anses väl kunna undersökas med CT.
- Hjärtat anses ännu inte kunna undersökas med CT. Fordras snabbare exponeringstider för att kunna undvika hjärt-rörelserna.

- Bukens organ t ex lever, bukspottskörtel och binjurar kan lämpligen undersökas med CT.
- Njurar kan även undersökas med andra metoder.
- Tarmkanal är inte speciellt lämplig för undersökning med CT. Möjligen kan CT få betydelse i matstrupe- och ändtarmsundersökningar.
- Kärlsystem i bedömning av dess kvalitativa egenskaper är en unik faktor vid CT.
- Skelettsystem, leder och mjukdelar kan undersökas med CT som en förundersökning för att planera riktade biopsier.

jan 1977	Lunds lasarett skaffar en skalltomograf av märket EMI.
1978	Sverige ligger på tredje plats vad gäller antalet CT i förhållande till invånarantalet. Etta kommer USA och tvåa Japan.
mars 1978	Serafimerlasarettet får en helkroppsscanner till låns av EMI. Den utnyttjas från mars -79 på leasingkontrakt.
våren 1978	Nordenström byter ut sin helkroppsdatortomograf mot en GE som han fått till låns under ca ett års tid.
maj 1978	Lunds lasarett får en Philips helkroppsdatortomograf.
hösten 1978	14 datortomografer finns i Sverige. Av dessa är åtta enbart för skallen. Samtliga regionssjukhus samt Södersjukhuset i Stockholm har skalltomografer. Helkroppstomografer finns på Karolinska sjukhuset, Huddinge sjukhus, Serafimerlasarettet, Regionssjukhuset i Linköping, Lunds lasarett och Akademiska sjukhuset i Uppsala.
1979	Malmö och Karlstad lasarett har köpt CT av Siemens. Ännu inte i drift.
mars 1979	Karolinska sjukhusets neuroradiologiska avdelning får en helkroppsscanner av märket GE.
1980-81	Installeras helkroppstomografer i Malmö och Karlstad. Totalt finns cirka 20 datortomografer i Sverige.

BILAGA 3

HISTORISK BILD AV DATORTOMOGRAFINS FRAMVÄXT I LUND

1962	Beslut om byggnad av ny röntgenavdelning vid Lunds lasarett.
1966	Ca 650 luftskalleundersökningar görs vid Lunds lasarett.
1968	Röntgenavdelningen står färdig.
juli 1971	Särskild röntgenteknisk avdelning inrättas i Lund. Ansvarig för denna blir Ture Holm, som är röntgenläkare.
1972	Professor Olle Olsson åker till London och tar del av CT vid Atkinsons sjukhus, där hans kollega Ambrose är chef. CT-tekniken gör ett mycket djupt intryck på honom.
sept 1972	Lunds röntgenavdelning deltar i projektet under professor Greitz som har till uppgift att utvärdera skalltomografin.
1973	Ca 420 luftskalleundersökningar vid Lunds lasarett.
1975	Fysikertjänst avsedd för fil dr eller tekn dr inrättas inom den röntgentekniska avdelningen.
okt 1975	Representanter från Lund är i Chicago för studium av skalltomografer vid den årliga RSNA-utställningen.
dec 1975	Regionsnämndssammanträde om CT. Uttalande om intresse för anskaffning av en CT till Lunds lasarett. Kostnaden skall fördelas genom ett efterdebiterings-system. Chefen för neuroradiologiska avdelningen, Sten Cronquist, skriver PM till Lunds sjukvårdsdistrikt angående beräknad kostnad för en skalltomograf.
jan 1976	Sjukvårdsavdelningen vid landstinget skriver en inlaga till förvaltningsutskottet om CT-anskaffning till Lund.
juni 1976	Beslut av Riksföreningen mot cancer att bidra med 50% vid anskaffning av helkroppstomograf.
nov 1976	Representanter från Lund, bl a Ture Holm, deltar i RSNA-utställning i Chicago för studium av helkroppsdatortomografi. Förvaltningsutskottet godkänner inköp av helkroppsdatortomograf. Landstinget betalar ca 1,3 Mkr och Nu-nämnden ca 450.000 kr.

jan 1977	Skalltomograf skaffas till Lunds lasarett. Ett viktigt motiv var möjligheterna att minska antalet luftskalle- och angiografiundersökningar.
febr 1977	Nu-nämnden godkänner bidrag till inköp.
nov 1977	Helkroppstomografen skulle egentligen ha levererats till Lund. Den blir fördröjd.
maj 1978	Leveransen av helkroppsdatortomografen sker. Den är av märket Philips. Kostnad ca 3,5 Mkr. Tredje generationen. Röntgenassistent utbildas i Stockholm under 14 dagar.
juli-aug 1978	Helkroppsdatortomograf stängs av bl a pga personalbrist i samband med semestrar.
sept 1978	Uppdatering av CT för sänkning av exponeringstiden.
mars 1979	Utvärdering av skalltomografen vid landstinget visar på en kostnad av 2.580 tkr.
april 1979	Hittills har 900 patienter blivit undersökta i helkroppsdatortomografen.
maj 1979	Ca 130 luftskalleundersökningar per år. En ytterligare uppdatering av helkroppstomografen sker för att sänka rekonstruktionstiden från 90 till 30 sekunder.
sept 1979	Ny uppdatering för sänkning av rekonstruktionstiden från 30 till ca 10-15 sekunder genomföres.
1980	Totalt har cirka 10.090 patienter undersökts med skalltomografi och 4.140 med helkroppstomografi.

BILAGA 4

FOTOILLUSTRATION AV NÅGRA RÖNTGENMETODER.

Fotograf: Ola Svensson, Skurup



Bild 1: Det stora primärgranskningsrummet. Läkaren gör sin första diagnostiska bedömning efter undersökningen.



Bild 2: Den kvinnliga läkaren (till vänster på bilden) för in en kateter i ett blodkärl, medan undersköterskan assisterar. Läkaren har hela tiden en bild i genomlysning i tv-skärmen, där hon kan följa kateterns väg in i kärlet.



Bild 3: Läkaren tittar i tv-skärm och placerar apparaten och patient i olika lägen. (Sker i huvudsak i mörker.)



Bild 4: Patient som ligger i scannern.

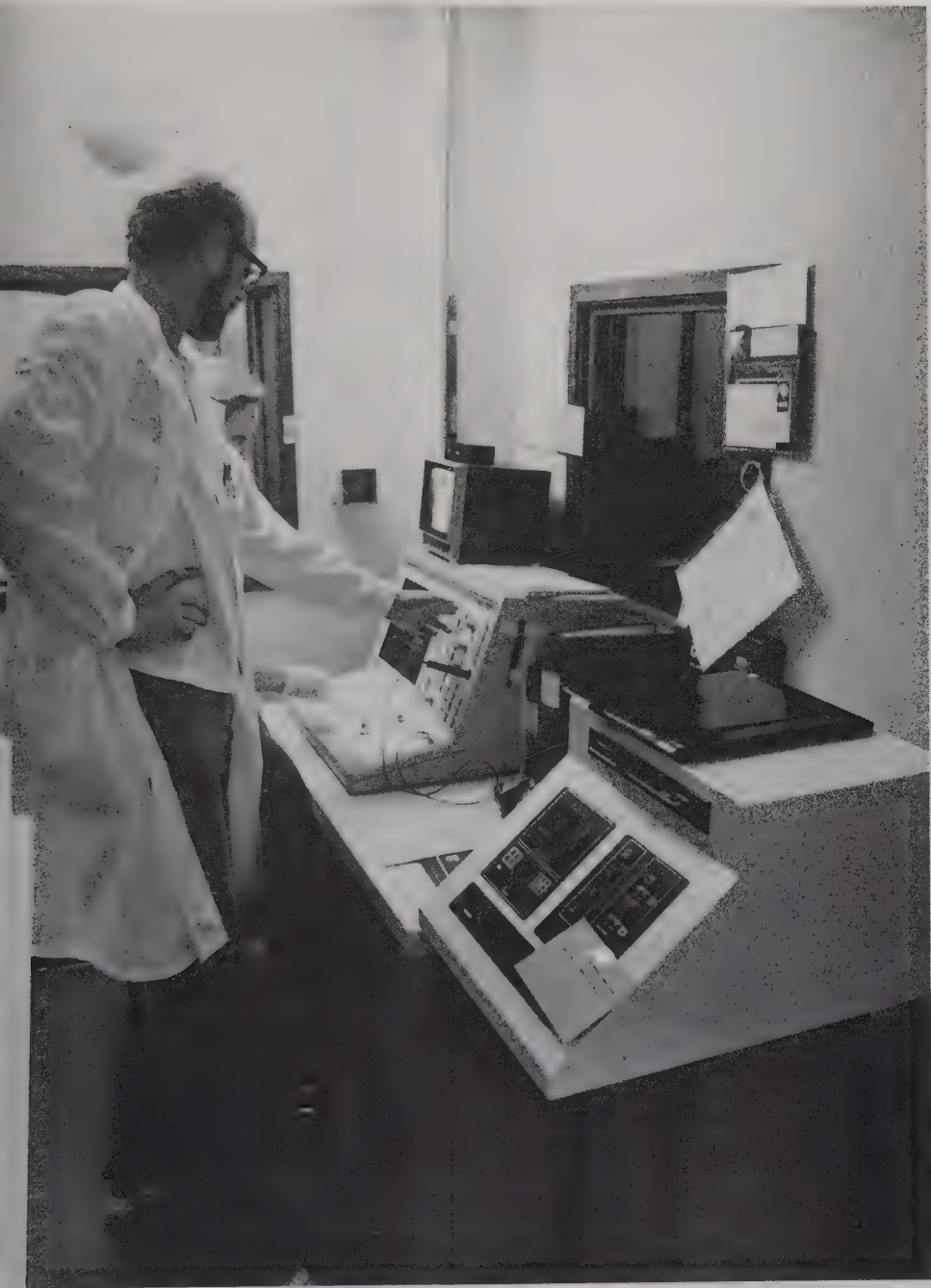


Bild 5:

Läkaren instruerar/diskuterar med röntgenassistenten hur snitten skall tas.



Bild 6:

Röntgenläkare undersöker kvinnlig patient med ultraljud. Till vänster om sig har läkaren en bild av det undersökta området.

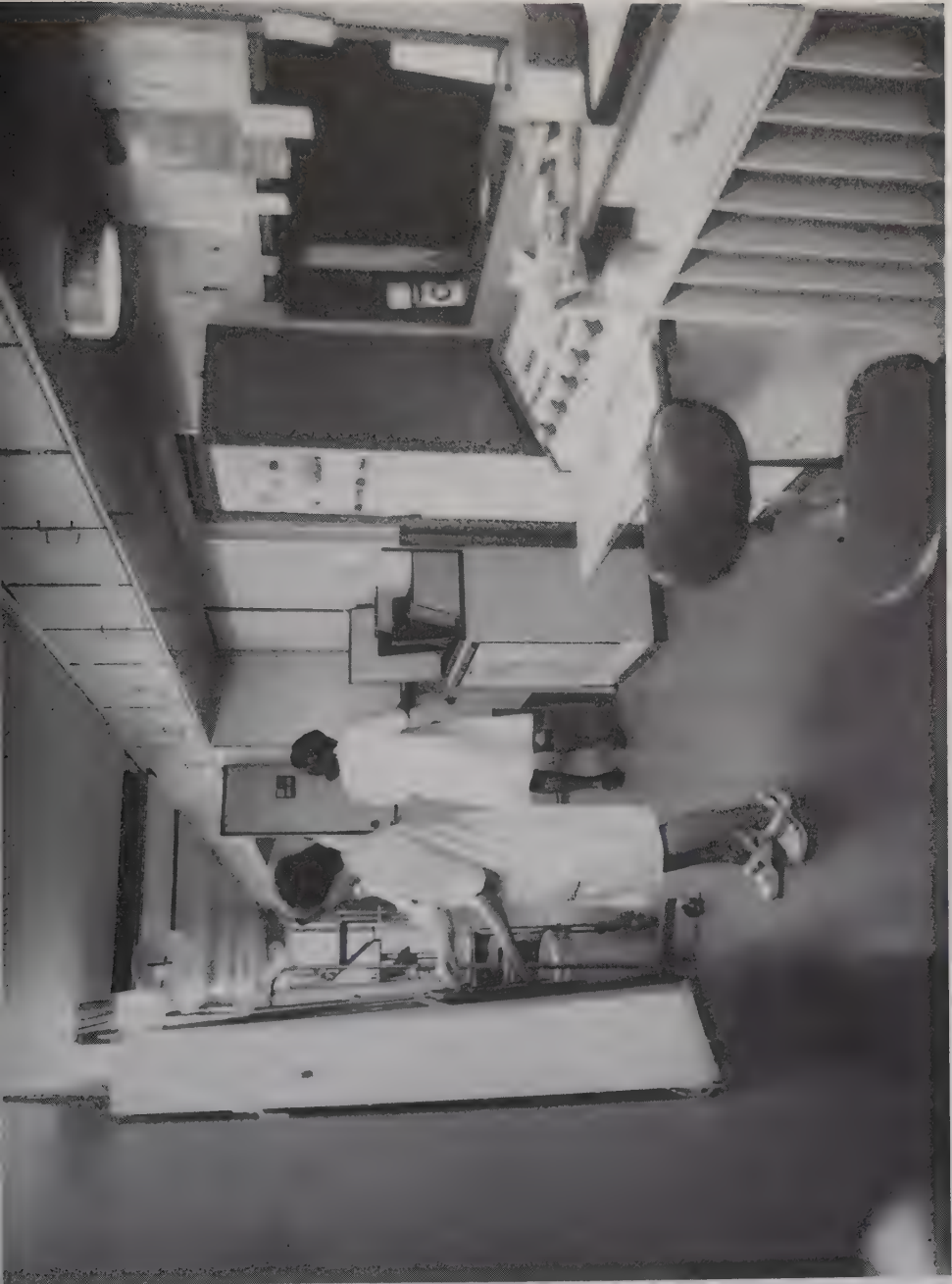


Bild 7:

Två assistenter hjälps åt med att ta ut kassetter och ladda nya och lämna dessa till läkaren, som finns i undersökningsrummet.



Bild 8: De två assistenterna under snitttagning. En sköter manöverpanelen, medan den andra sysslar med bokning av patienter.

NOTFÖRTECKNING

Prolog och arbetets disposition

1. I arbetet används förutom röntgenläkare begreppen radiolog och röntgenolog. Betydelsen är densamma.
2. Reiser, 1978, sid 23 ff.

Kapitel 1

1. Berggren 1979.
2. Berggren 1981 b.
3. Främsta inspirationskällor för detta synsätt har Berger & Luckman (1967), Silverman (1970) och Normann (1970, 75) varit.

Kapitel 2

1. Crosby (1968) har behandlat kreativitet ur ett organisatoriskt perspektiv.
2. Freeman (1974) och Mansfield (1968 a, b och 1971) är två andra exempel på efterföljare med ett i huvudsak makroperspektiv.
3. Hage & Aiken (1970) skiljer mellan statiska och dynamiska organisationer, Nyström (1974) mellan positionella och innovativa.
4. Chandler (1962, har behandlat sambandet mellan organisationens strategi och struktur. Woodward (1965) har belyst teknologins roll för organisationsstrukturen.
5. Redan tidigare hade Schon (1963) behandlat innovationsförlopp.
6. Carlsson et al (1981) är ett svenskt exempel.

Kapitel 3

1. Kapitlet bygger främst på intervjuer med röntgenläkare och sammanställning av uppgifter från Encyklopedia Britannica 1974, nr 15, sid 457-467. I bilaga 1 finns ett historiskt milstolpsschema över datortomografin utveckling.
2. Röntgenundersökningar vid Lasarettet i Lund 1977-80, sammanställning inom röntgentechniska avdelningen, 1981.
3. Avser storleken på röntgenkliniken, Lunds lasarett.
4. Bleich 1960.
5. Dessauer 1955.
6. Glasser 1959.
7. Röntgendiagnostik, Svensk Uppslagsbok, 1963.
8. Encyklopedia Britannica 1974.
9. Frakturkirurger var föregångare till nuvarande ortopedier.
10. Encyklopedia Britannica 1974.
11. Ibid.
12. Bleich 1960.
13. Ibid.
14. Ibland också kallad färgskalle.
15. Bleich 1960.
16. Svensk Uppslagsbok 1963.
17. Ibid.

18. Logan ed. 1978.
19. Svensk förening för medicinsk radiologi, 1974.
20. Ibid.

Kapitel 4

1. Glasser 1959.
2. General Electric, 1978, Annual Report; Logan ed. 1978.
3. Philips, Siemens; Annual Reports, 1978, 1979.
4. Philips, 1978; Philips, Annual Report, 1978.
5. Toshiba Medical Systems, 1980.

Kapitel 5

1. Philips Medical Systems, 1978.
2. SPRI-rapport 15/1977.
3. Ibid.
4. Ibid.
5. SPRI-rapport 8/1976. SPRI-rapport 15/1977.
6. I del IV ges en fylligare beskrivning av datortomografins bidrag inom olika områden och om några effekter för patient och personal.

Kapitel 6

1. Gordon et al 1975.
- 2,3 Philips Medical Systems, 1978.
4. En metod att rekonstruera en bild av de vid avsökningen upptagna mätvärdena.
5. Philips Medical Systems, 1978.
5. Journal of Applied Phys. 1963 s 2722. Journal of Applied Phys. 1964 s 2908.
6. Philips Medical Systems, 1978.
7. EMI-Medical, EMI Scanner Background Information, 1977.
8. Intervju 1981-07-07.
9. Intervju 1981-07-07.
10. Intervju 1979-12-19.
11. Intervju 1979-12-18.
12. Man gör sålunda avläsningar på andra sidan objektet av den del av strålningen som inte absorberas.
13. Intervju 1981-12-19.
14. Intervju 1981-12-19.

Kapitel 7

1. Beskrivningen avser EMI före det att koncernen fusionerades med Thorn Electric våren 1980.
2. EMI Technology 1976.
3. Efter John Baird, som utvecklade det första TV-systemet i England 1925. (Geddes 1972, s 20).
4. Intervju 7/7 1981.
5. EMI Reports and Accounts 1979.
6. Intervju 18/12 1979.
7. EMI Technology 1976.

8. EMI Reports and Accounts 1978, 1979.
9. Intervju 7/7 1981.

Kapitel 8

1. Intervju 17/12 1979.
2. En form av matematiska beräkningar.
3. Se närmare om ultraljudstekniker i del III.
4. Ett isotopämne.
5. Intervju 19/12 1979.
6. Intervju 21/12 1979.
7. Intervju 19/12 1979.
8. Intervju 7/7 1981.
9. Intervju 19/12 1979.
10. Intervju 19/12 1979.
11. Vid denna tidpunkt fanns ännu inte mini- och mikrodatorer. Existerande datorer var baserade på transistorer och inte på dagens mikroprocessorer.
12. Enligt James Ambrose.
13. Intervju 18/12 1979.
14. Intervju 21/12 1979.

Kapitel 9

1. Powell, 1976.
2. Intervju 18/12 1979.
3. Intervju 7/7 1981.
4. Intervju 10/10 1979.
5. Intervju 11/10 1979.
6. Intervju 7/7 1981.
7. Intervju 7/7 1981.
8. Enligt intervjuuttalande av J. Powell (internt videoband EMI, som vi tog del av vid besök december 1979).
9. Intervju 7/7 1981.
10. *Bl a British Journal of Radiology*, 1973 s 401 och 1048.
11. Intervju 18/12 1979.
12. Intervju 7/7 1981.
13. Intervju 18/12 1979.

Kapitel 10

1. EMI Reports and Accounts 1978, 1979.
2. Fishlock, 1975.
3. Intervju 21/12 1979.
4. Philips Medical Systems, 1978.
5. Intervju 10/10 1979.
6. Intervju 21/12 1979.
7. Philips Medical Systems, 1978.
8. Intervju 7/7 1981.
9. Intervju 18/12 1979.
10. Intervju 18/12 1979.
11. Philips Medical Systems, 1978.
- 12/13 Ibid.

14. Philips Medical Systems, 1978.
15. EMI Reports and Accounts 1978, 1979.
16. Intervju 7/7 1981.
17. Intervju 5/6 1979.
18. Intervju 10/10 1979.
19. Intervju 7/7 1981.
20. SPRI 15/1977.
21. Philips Medical Systems, 1978.
22. En sammanlagd exponerings- och bildbehandlingstid på 1 minut var vanlig 1979/80. Nu har de flesta system bild direkt efter exponering.
23. Intervju 18/12 1979.
24. Intervju 19/12 1979.
25. Intervju 18/12 1979.
26. Intervju 21/12 1979.

Kapitel 11

1. OTA, 1981.
2. Intervju 7/7 1981.
3. EMI Reports and Accounts, 1978 och 1979.
4. Intervju 18/12 1979.
5. Intervju 10/10 1979.
6. Sunday Times feb. 24, 1980.
7. Intervju 18/12 1979.
8. Intervju 10/10 1979.
9. Intervju 15/11 1981.

Kapitel 12

1. Intervju 20/6 1979.
2. Leander, 1981.
3. Nyman, 1979.
4. Greitz & Widén, 1979.
5. OTA, 1981.
6. Ibid.
7. Ibid.
8. Ibid.
9. Intervju 10/10 1979.

Kapitel 13

1. OTA, 1981 s 12.
2. Ett historiskt "milstolpsschema" över datortomografens utveckling i Sverige finns i bilaga 2.
3. Intervju 31/10 1979.
4. Ett historiskt "milstolpsschema" över anskaffning av datortomografi till Lund finns i bilaga 3.
5. Intervju 15/4 1980.
6. Malmöhus läns landsting, förvaltningsutskottet, protokollsutdrag 29/11 1976.
7. Intervju 23/4 1980.
8. Intervju 10/4 1980.
9. Intervju 3/5 1979.

Kapitel 14

1. Diagnostik med ultraljud, SPRI 1977.
2. För den tekniska beskrivningen har följande arbeten använts: SPRI, 1980 och Devey & Wells, 1978.
3. Ett vanligt TV-rör är ett katodstrålrör.

Kapitel 15

1. Hertz, 1959.
2. Hertz, 1973.
3. Hertz, 1959.

Kapitel 16

1. Kossoff 1978.
2. Holmes 1980.
3. Ibid.
4. Intervju 14/7 1980.
5. Intervju 22/11 1979.
6. Intervju 22/11 1979.
7. Holmes 1980.
8. Holmes 1980.
9. Ibid.
10. Ibid.
11. Ibid.
12. Kossoff 1978.
13. Intervju 2/10 1979.

Kapitel 17

1. Några exempel är:
 - o SPRI 9/76.
 - o SPRI 8/76.
 - o Jonsson, 1980.
 - o Gempel, Harries & Evens, 1977.
 - o Evans et al., 1979.
 - o Greitz, 1976.
 - o OTA, 1978.
2. En bredare analys görs i Berggren 1981 b, där även analysen stöds av uttalanden från representanter för olika kliniker.
3. Avsnittet bygger på Berggren 1981 b, där resonemanget illustrerats av uttalanden från olika "icke-användare".

Kapitel 19

1. En EMI-modell av andra generationen.

Kapitel 22

1. En önskan som framkommit vid samtal med ett flertal röntgenläkare från landsortsslasarett.

Kapitel 24

1. En ofta framförd fråga under samtal med röntgenläkare.
2. Winqvist 1977.
3. Eng & Abramson 1974.
4. The Economist, 1981 s 81
Demain & Solomon, 1981 s 43.

Kapitel 25

1. Fallet har tidigare använts av Andersson et al (1982 kap 4).

Kapitel 26

1. Se t.ex Lagerberg 1979, Allander 1979, Berglund 1980.
2. Begreppet organisatorisk rädsla är välkänt i litteraturen. Se bl.a Moxnes (1978), Jaques (1955), Menzies (1960) och De Board (1978).
3. Begreppet vårdidé är hämtat från Svalander (1979), som utvecklat det utifrån Normanns (1975) affärsidébegrepp.
4. Svalander (1979 sid 129) har pekat på hur sjukvårdsadministrationen växte fram från en intendenturverksamhet och därmed fått i huvudsak en rent administrativ-byråkratisk funktion.
5. Se Drearly et al, 1978.
6. Dreitzel, 1971.
7. En ökad debatt om sjukvården har uppkommit och olika former av "alternativ sjukvård" har presenterats. Se t.ex Lagergren & Lund (red) 1981 del I-IV, Walker (1979).
8. Se angående begreppet socio-teknik: Emery & Trist (1960) och Rice (1958).
9. Denna klassificering är utvecklad vid diskussion med prof. Tom Burns, Uppsala.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Abrams H. & McNeil, B.J. 1978,
Medical Implications of Computed Tomography
("CAT Scanning")
New England Journal of Medicine 298:6 s. 310-
318
- Allander E. 1979,
Helhetssyn som arbetsmetod i vårdarbete -
hinder eller utvecklingsmöjlighet?
Läkartidningen volym 76 nr 44.
- Andersson R. et. al. 1982,
Krävande företagsledning
Liber, Lund.
- Argyris C. & Schön D. 1974,
Theory in Practice: increasing professional
effectiveness.
Jossey - Bass, San Francisco
- Argyris C. & Schön D. 1978,
Organizational learning: A theory of action
perspective, Addison Wesley.
- Barkin J. et. al. 1977,
Computerized Tomography, Diagnostic
Ultrasound and Radionuclide Scanning, nov. 7,
volym nr 238, nr 19. s. 2040-42.
- Bartum R.J. Ultrasound and CT Scanning, chapter 23, s. 263-
270.
- Basil D.C. & Cook, C.W. 1974,
The management of change. McGraw-Hill, Edinburgh.
- Bateson, G. 1972,
Steps to an Ecology of Mind, Ballantine Books,
New York.
- Bell, J. 1980,
For sale - worldbeater that lost its market.
Sunday Times, febr. 24.
- Berger, P. & Luckman, T. 1967,
The Social Construction of Reality, Anchor
Books, New York.
- Berggren, U. 1979,
24 perspektiv på datortomografins utveckling i
Sverige. SIAR TT:3, Lund. Arbetsrapport.

- Berggren, U. 1980,
Datortomografi - Effekter för patient och sjukvårdsorganisation. Arbetsrapport SIAR TT:43, Lund.
- Berggren, U. 1981 a,
Datortomografins framväxt och spridning. SIAR TT:70, Lund.
- Berggren, U. 1981 b,
Datortomografi - några effekter för patient och sjukvårdsorganisation. SIAR TT:76, Lund.
- Berglund, K. 1980,
Avig helhetssyn äventyrar strävandena mot mänsklig sjukvård. Läkartidningen volym 77, nr 21.
- Bergström, K. 1978,
Datortomografi - dagsläge (augusti 1978), och framtiden. SOU 1978:70. Bilaga 9, sid 227.
- Bleich, R. 1960,
The story of X-rays from Röntgen to Isotopes, Dover Publications, New York.
- Bowie, R. M. 1963,
The direction and control of research and development, Research Management 6, s. 277-88.
- Brearley, P. et al. 1978,
The social context of health care. Robertson & Blackwell, Suffolk.
- Burns, T.
& Stalker, G. M. 1961,
The management of innovation. Tavistock, London.
- Carlsson, B. et al. 1981,
Industrin inför 80-talet. Industrins Utredningsinstitut, Stockholm.
- Carter, C. F. & Williams, B. R. 1959,
Science in Industry: Policy for Progress. Oxford University Press, London.
- Chandler, A. D. 1962,
Strategy and Structure, MIT Press, Cambridge.
- Cherry, L. 1979,
Medical Technology: the New Revolution, New York Times Magazine, 5 aug.

- Cormack, A. M. 1981,
Future Developments of the Principles of CT
scanning. Medical Review, vol. 6 June, s. 1-2,
Toshiba.
- Crosby, A. 1968,
Creativity and Performance in Industrial
Organization. Tavistock Publications, London.
- Cross, W. 1978,
Ultraljud avslöjar dolda sjukdomar. Det Bästa,
nov, sid 38-42.
- Crozier, M. 1964,
The Bureaucratic Phenomenon. Tavistock
Publications, London.
- De Board, R. 1978,
The Psychoanalysis of Organizations. Tavistock
Publications, London.
- Demain, A. &
Solomon, N. 1981,
Industrial Microbiology. Scientific American,
Sept. s. 43-52.
- Dessauer, F. 1955,
Röntgens upptäckt. Natur & Kultur, Stockholm.
- Devey, G. & Wells. P. 1978,
Ultrasound in Medical Diagnosis. Scientific
American, maj, s. 98-112.
- Dreijer, N. 1979,
Diagnostic Ultrasound. Brüel & Kjaer, Naerum.
- Dreitzel, H. (ed.) 1971,
The social organization of health. Macmillan,
New York.
- The Economist 1981,
Biotechnology becomes a goldrush, June 13,
s.81-86
- Edholm, P. 1976,
Datortomografi, en revolutionerande ny röntgen-
metod. Läkartidningen volym 73, nr 26-27. Sid.
2408-2413.
- Edler, I. 1978,
Utveckling av ekokardiografi. Sydsvenska medi-
cinsk-historiska sällskapet. Sid. 43-64.

- Edler, I. & Hertz, H. 1956,
Die Registrierung von Herzwandbewegungen mit
Hilfe des Ultraschall-Impulsverfahrens. *Acustica*
vol. 6. Sid. 361-364.
- Edler, I. & Hertz, H. 1977,
The Early Work on Ultrasound in Medicine at the
University of Lund. *Journal of Clinical Ultra-*
sound, vol. 5. Nr. 5. Sid 353-356.
- Ekelund, L. 1978,
Abdominell datortomografi. *Läkartidningen* 34,
sid 18-22.
- Emery, F. E. &
Trist, E. L. 1960,
Socio-technical Systems in C. W. Churchman and
M. Verhulst (ed.). *Management Science, Models*
and Techniques, vol. 2. Pergamon s. 83-97.
- EMI Medical, EMI Scanner
Background Information 1977,
broschyr.
- EMI Technology, 1976,
A Profile of Technological capability. EMI
Limited, London, broschyr.
- Encyclopeida Britannica 1974,
Radiology nr 15. Sid 457-467, 15 ed. E. B. Inc.,
USA. Helen Hemingway Benton Publisher.
- Eng, S. &
Abramson N. 1974,
Laserteknik (elektro-optik) i Sverige. STU-
utredning nr 20-74. 2:a uppl. STU.
- Evans, R. et al. 1979,
Utilization of Body Computed Tomography
Units. *Radiology* 131 s. 695-698 June.
- Evans, R.,
Alfidi, R. et al. 1977,
Body Computed Tomography: A Clinically
Important and Efficient Radiologic Procedure.
Radiology, april. Sid. 239-40.
- Evans, R. G. &
Gilbert, J. 1979,
Utilization of Body Computed Tomography
Units. *Radiology* 131, sid. 695-698. June.

- Fagan, A. 1976,
The evolution of CAT scanning in Canada.
Dimensions in Health Service 54:5, sid 49-50, 52.
- Falk, C. E. 1973,
An operational, policy-oriented research
categorisation scheme. Research Policy 2, sid.
186-202.
- Fishlock, D. 1975,
£4 m. orders for scanner from North America.
Financial Times, 24 October.
- Fishlock, D. 1978,
Medical Equipment. Financial Times survey. 26
January. Sid. 33-38.
- Fox, C. 1979,
Innovation in medical diagnosis - the
Scandinavian curiosity. The Lancet, June 30. Sid.
1387-88.
- Freeman, C. 1974,
The Economics of Industrial Innovation. Penguin
Books, London.
- Freidson, E. 1973,
Profession of Medicine, Dodd. Mead & Company,
New York.
- Friman, L., et al. 1980,
Serafenprojektet. Läkartidningen volym 77, nr 3.
Sid 106-126.
- Frohman, A. L. 1982,
Technology as a competitive weapon. Harvard
Business Review. Jan-Febr.
- Geddes, K. 1972,
Broadcasting in Britain 1922-72. A Science
Museum Booklet, Her Majesty's Stationary
Office, London.
- Gempel, P.,
Harries, G.,
Evens, R. 1977,
Comparative Cost Analysis Computed
Tomography versus Alternative Diagnostic
Procedures 1977 and 1980. Arthur D. Little,
Cambridge Massachusetts, USA.
- General Electric
Annual Reports 1978, 79.

- General Electric 1976,
Introduction to computed tomography. Broschyr.
- Gibbons, M. &
Johnston, R. 1974,
The roles of science and technological innovation. Research Policy, 3. Sid. 220-42.
- Gjötterberg, M. 1976,
Datortomografin och hjärtat. Läkartidningen 4,
sid 336-42 - 336-43.
- Glaser, B. &
Strauss, A. L. 1968,
The Discovery of Grounded Theory. Weidenfeld
& Nicolson, London.
- Glasser, O. 1959,
Wilhelm Conrad Röntgen und die Geschichte der
Röntgenstrahlen. Mit einem Beitrag: Persön-
liches über W. C. Röntgen von Margret Boveri, 2
uppl. Berlin.
- Globe, S.,
Levy, G. W. &
Schwartz, C. M. 1973,
Key factors and events in the innovation process.
Research Management, 16. Sid 8-15.
- Gold, B. 1971,
Explorations in Managerial Economics: Produc-
tivity, Costs, Technology and Growth.
Macmillan, London.
- Gordon, R.,
Herman, G. T., &
Johnson, S. A. 1975,
Image Reconstructions from Projections.
Scientific American, 233. Sid. 56-58.
- Greitz, T. 1976,
Svenska erfarenheter av datortomografi. Läkar-
tidningen 26:27 sid. 2403-2407, 2414.
- Greitz, T. &
Widén, L. 1979,
Energiomsättningen i människohjärnan -
Upptäcktsfärden i den inre rymden. Dagens
Nyheter, 2 mars.
- Hage, J. & Aiken, M. 1970,
Social Change in Complex Organizations, New
York.

- Hedberg, B. 1979,
How Organizations Learn and Unlearn. Working
paper 1979:1. Arbetslivscentrum, Stockholm.
- Henderson, H. 1979,
A sideways look at scanners. New Scientist, 6
dec, sid 782-85.
- Hertz, C. H. 1959,
Ultraljud - ekometoden i natur, teknik och
medicin. Kosmos, band 37.
- Hertz, H. 1963,
Ultraljud inom den medicinska diagnostiken.
Referat från konferens våren 1963 anordnad av
IVA och Nämnden för medicinsk teknik vid
Statens Tekniska Forskningsråd, Stockholm.
- Hertz, C. H. 1973,
The Interaction of Physicians, Physicists and
Industry in the Development of Echocardio-
graphy, Ultrasound in Med. & Biol. Volume 1 sid
3-11. Pergamon Press, Oxford.
- Hertz, H. 1975,
Hjärtdiagnostik med ultraljud - ett resultat av
grundforskning. Lundaforskare Föreläser, sid 95-
104.
- Hertz, H. 1978,
Pulse - echo Techniques. Handbook of clinical
ultrasound. Sid 31-37. John Wiley & Sons.
- Hill, C.T. &
Utterback, J.M. ed. 1979,
Technological Innovation for a Dynamic
Economy
Pergamon Press, New York.
- Hitachi,
1981,
The Inside Story
Hitachi Medical Corporation, Tokyo, broschyr.
- Holm, H. H. 1976,
Ultralydsscanning eller computerized axial tomo-
graphy? Ugeskrift For Laeger. 18 oktober, 138,
årg. nr 43. Sid 2625-2640.
- Holmes, J. 1980,
A History of AIUM Reflection. Volume 6 No 3,
fall. Sid. 193-212.

- Holmes, J. 1980,
Diagnostic Ultrasound During the Early Years of
AIUM. *Journal of Clinical Ultrasound*. 8 aug., sid
299-308.
- Howard, I. &
Strauss, A. 1975,
Humanizing health care. Wiley, New York.
- Jacques, E. 1953,
On the dynamics of social structure. *Human
Relations*, 6, 3-24.
- Jacques, E. 1955,
Social systems as a defence against persecutory
and depressive anxiety from Klein M, et al (red).
New directions in psychoanalysis. Tavistock
Publications, sid 478-498. London.
- Jelinek, M. 1979,
Institutionalizing innovation, a study of
organizational learning systems. Praeger
Publishers, New York.
- Jewkes, J.,
Sawers, D. &
Stillerman, R. 1969,
The Sources of Invention. 2. uppl. Macmillan,
Edinburgh.
- Jonsson, E. 1980,
Studies in health economics EFI. Stockholm.
- Jonsson, E. &
Marké, L. Å. 1976,
Datortomografi - ekonomiska synpunkter. *Läkar-
tidningen* volym 73, nr 32. Sid 2609-14.
- Jonsson, E. &
Marké, L. Å. 1977,
CAT Scanners: The Swedish Experience. *Health
Care Management Review* 2:2, sid. 37-53.
- Kay, N. M. 1979,
The Innovating Firm. A Behavioural Theory of
Corporate R&D. Macmillan, Norfolk.
- Knaus, W.,
Schroeder, S. et al. 1977,
Impact of New Technology: The CT Scanner.
Medical Care, July Volume XV No 7. Sid 533-42.
- Knight, F. H. 1921,
Risk, Uncertainty and Profit. Houghton Mifflin,
Boston.

- Kossoff, G. 1978,
Diagnostic Ultrasound - The View From Down Under. Journal of Clinical Ultrasound. Volume 6 number 3. June. Sid 144-149.
- Kreel, L. 1977,
Computerized Transverse Axial Tomography with Tissue Density Measurements. Journal of Computer Assisted Tomography, 1(1), sid 1-4.
- Kuhl, D. E. & Edwards, R. Q. 1968,
Reorganising data from Transverse Sectional Scans of the Brain Using Digital Processing. Radiology 91. Sid. 975-983.
- Kuznets, S. 1962,
Inventive activity: problems of definition and measurement. National Bureau of Economic Research. Sid. 19-43.
- Lagerberg, D. 1979,
Helhetssyn och samarbete - oförenliga begrepp? Läkartidningen volym 76, nr 28-29.
- Lagergren, M. & Lundh, L. (red) 1981,
Tankar om den framtida vården.
Del I - Om ideologi och ansvar.
Del II - Om teknologi och kunskap.
Del III - Om organisation och medverkan.
Del IV - Om vårdarbete och samhälle.
Sekretariatet för framtidsstudier. Stockholm.
- Langrish, J., Gibbons, M., Evans, W. G. & Jevons, F. R. 1972,
Wealth from Knowledge. Macmillan, London.
- Lawrence, P. & Lorsch, J. 1967,
Organization and environment. Managing differentiation and integration. Harvard Univ. Press, Boston.
- Laws, P. 1977,
X-rays: More harm than good? Rodale Press.
- Leander, G. 1981,
Gammatomografen avslöjar svårupptäckta tumörer. Dagens Nyheter 2 febr.

- Levitt, T. 1969,
The Marketing Mode - Pathways to Corporate Growth. McGraw Hill, New York.
- Levitt, R.,
Jost, G. et al. 1977,
A Computer-assisted Method to Determine the Diagnostic Efficiency of Computed Tomography of the Body. Radiology 123:1, sid. 97-101.
- Logan, D. E. (ed) 1978,
A Highlight History of General Electric. General Electric Company. Corporate Public Relations Operation, Fairfield, broschyr.
- Machlup, F. 1962,
The supply of inventors and inventions.
In: National Bureau of Economic Research (1962).
The Rate and Direction of Inventive Activity:
Economic and Social Factors, Princeton
University Press, Princeton.
- Mansfield, E. 1968 a,
The Economics of Technological Change. Norton,
London.
- Mansfield, E. 1968 b,
Industrial Research and Technological Innovation. Norton, London.
- Mansfield, E. 1971,
Research and Innovation in the Modern Corporation. Macmillan, London.
- March, J. G. &
Simon, H. A. 1958,
Organizations. Wiley, New York.
- Mensch, G. 1979,
Stalemate in Technology. Ballinger, Cambridge,
Mass.
- Menzies, I. 1960,
A case study in the functioning of social systems
as a defence against anxiety. Human Relations,
13, sid 95-121.
- Moxnes, P. 1978,
Angst og organisasjon. Gyldendal, Oslo.
- National Science
Foundation N.S.F. 1966,
Basic Research, Applied Research and Development in Industry 1963. N.S.F. 66-15, Washington.

- Nelson, R. R. 1962,
The link between science and invention: The case
of the transistor. National Bureau of Economic
Research sid 549-83.
- Normann, R. 1969,
Variation och omorientering. En studie av inno-
vationsförmåga. SIAR S-21, Mimeograph,
Stockholm.
- Normann, R. 1970,
A Personal Quest for Methodology. SIAR-19.
Stockholm. Stencil.
- Normann, R. 1975,
Skapande företagsledning. Aldus, Lund.
- Nyman, S. 1979.
Svenska forskare bakom gammadatortomograf.
Ny Teknik 25 okt.
- Nyström, H. 1974,
Företagskreativitet och innovationer. Norstedts,
Stockholm.
- Office of Technology
Assessment (OTA) 1978, aug.
Policy implications of the computed tomography
(CT) scanner. Washington D.C.
- Office of Technology
Assessment (OTA) An Update 1981,
Policy implications of the computed tomography
(CT) scanner. Washington D.C.
- Philips 1978,
A Guide to Philips. N.V. Philips'
Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, broschyr.
- Philips Annual Reports 1978, 79.
- Philips Medical Systems 1978,
X-ray Scanning, General Information, broschyr.
- Phillips, D. &
Lillé, K. 1976,
Putting the Leash on 'CAT'. Journal of the
American Hospital Association. July 1, vol. 50,
sid 45, 48-49.
- Porter, M.E. 1980,
Competitive Strategy, Techniques for Analyzing
Industries and Competitors. The Free Press,
New York.

- Powell, J. 1976,
A Technological Breakthrough. EMI Medical,
London. Stencil.
- Price, D. J. 1964,
The science of science. M. Goldsmith and A.
MacKay (eds). The Science of Science, Souvenir
Press, London. Sid 195-208.
- Price, D. J. 1965,
Is Technology Historically Independent of
Science? A study in statistical historiography.
Technology and Culture 6, sid. 553-568.
- Price, D. J. 1975,
Science since Babylon. Yale University Press,
London.
- Price, W. J. &
Bass, L. W. 1969,
Scientific research and the innovative process.
Science 164, 802-806.
- Reiser, S. J. 1978,
Medicine and the Reign of Technology.
Cambridge University Press, Cambridge.
- Rhenman, E. 1969,
Centrallasarettet - Systemanalys av ett
svenskt sjukhus. Studentlitteratur, Lund.
- Rhenman, E. 1974,
Organisationsproblem och långsiktsplanering.
Bonniers, Stockholm.
- Rhenman, E. &
Skärvad, P. H. 1977,
Svåra beslut, makt och medbestämmande.
Besluten i företagen. Svenska Arbetsgivare-
föreningen, Stockholm.
- Rice, A. K. 1958,
Productivity and Social Organization: The
Ahmedabad Experiment. Tavistock, London.
- Rogers, E. M. 1962,
Diffusion of Innovations. Free Press, New York.
- Rosenbloom, R. S. &
Kantrow, A. M. 1982,
The nurturing of corporate research. Harvard
Business Review. Jan-febr. sid 115-123.
- Salomon, J. J. 1971,
The Research System, volume 1. OECD, Paris.

- Schmookler, J. 1966,
Invention and Economic Growth. Harvard University Press, Cambridge.
- Schmookler, J. 1962,
Comment on paper by Kuznets. National Bureau of Economic Research (1962), sid 43-51.
- Schon, D. 1963,
Displacement of Concepts. Tavistock, London.
- Schon, D. 1967,
Teknologi och förändring. Stockholm PAN, Norstedts.
- Schon, D. 1971,
Beyond the stable state. Random House, New York.
- Schumpeter, J. 1934,
The Theory of Economic Development. Cambridge.
- Schutz, A. 1954,
Concept and theory formation in the social sciences. Journal of Philosophy 51, s 257-273.
Cit. i Bynner, J. & Stribley, K. Social Research: Principles and Procedures. Longman, 1978.
- Schuwert, P. 1978,
Ultraljudsdiagnostik. Förstudie 1977-1978. SPRI, Stockholm.
- Selznick, P. 1957,
Leadership in Administration. IU, Row, Peterson. Evanston.
- Siemens Annual Reports 1978, 79.
- Siemens,
This is Siemens 1981,
Siemens Aktiengesellschaft. Broschyr.
- Silverman, D. 1970,
The Theory of Organizations. Heinemann, London.
- Simon, H. A. 1947,
Administrative Behaviour. Macmillan, New York.
- Snow, C. P. 1959,
The Two Cultures and the Scientific Revolution. Cambridge University Press, London.
- SPRI 8/1976 Datortomografi - funktion, användbarhet m.m.
SPRI-rapport, Stockholm.

- SPRI 9/76 Datortomografi av skallen. Ekonomiska beräkningar. SPRI-rapport, Stockholm.
- SPRI 15/1977 Datortomografi av kroppen - användning, ekonomi, teknik. SPRI-rapport, Stockholm.
- SPRI S117/1977 Diagnostik med ultraljud. SPRI specialpublikation. Symposium vid Svenska Läkar-sällskapets Riksstämma, Stockholm.
- SPRI 30/1980 Ultraljudsdiagnostik. Principer, ekonomi, apparatval. SPRI-rapport, Stockholm.
- SPRI 30/1980 Marknadsöversikt - ultraljud. Appendix till SPRI rapport 30, Stockholm.
- Stocking, B. 1979,
X-rays highlight the doctor's dilemma. New Scientist, 11 January, sid 84-87.
- Svalander, P. A. 1979,
Att förnya sjukvårdens organisation. Liber, Lund.
- Svensk förening för medicinsk radiologi. 1974,
Historik 1919-1939 och 1940-1970, Uppsala.
- Svensk uppslagsbok 1963,
Radiologi nr 24, sid 1170-72. 2:a omarb. uppl. 1947-55 års. Förlagshuset Norden, Malmö.
- Swets, P. & Whithead et al. 1979,
Assessment of Dignostic Technologies. Science volume 205 nr 4407 24 aug.
- Taton, R. 1957,
Reason and Chance in Scientific Discovery. Hutchinson, London.
- Thompson, J. D. 1967,
Organizations in action. McGraw-Hill, New York.
- Thompson, V. 1965,
Bureaucracy and Innovation. Administrative Science Quarterly, juni.
- Time 1979,
Those Expensive New Toys, 28 maj, sid 58-59.
- Toffler, A. 1981,
The third wave. Bentham Books, New York.

- Toshiba 1981,
In Touch with Tomorrow. Toshiba Corporation,
Tokyo, broschyr.
- Toshiba Medical Systems 1980,
Working Toward the Continued Growth of an
Enlightened and Healthy Society, Toshiba
Corporation, Tokyo, broschyr.
- Vedin, B. A. 1980,
Radical Product Innovation. Studentlitteratur,
Lund.
- Wadsworth, M. &
Robinson, D. 1976,
Studies in everyday medical life. Robertson,
London.
- Walker, M. 1979,
Total Health. Everest House, New York.
- Weber, M. 1964,
The Theory of Social and Economic Organi-
zation. Free Press, New York.
- Wilson, J. 1966,
Innovation in Organization: Notes towards a
theory. Thompson J. (ed.) Approaches to
organizational design, Pittsburgh.
- Wilson, J. 1974,
EMI-Scanner - the £15.000.000 winner. New
Electronics, 3 sept.
- Winqvist, G. 1977,
Alfa-Laval - The Growth History of Alfa-Laval.
SIAR, Lund. Stencil.
- Wood, E. 1975,
Case Studies on the process of technological
innovations in the economy's private sector. SRI
International, Palo Alto.
- Woodward, J. 1965,
Industrial Organization. Theory and Practice.
Oxford University Press, Oxford.

ENGLISH SUMMARY

This work deals with a new X-ray technology, computer tomography (CT), its development and diffusion. During the 1970's it aroused great interest and its inventors were rewarded with the Nobel prize in 1979.

Computer tomography is in many ways a remarkable apparatus. With it one can take cross-sectional pictures of the body. It gives much better resolution in the X-ray picture, and thereby much higher quality than conventional X-ray technologies when examining soft tissues. This has proved a big step forward in radiology.

Among the Nobel prize winners was Godfrey Hounsfield, a reticent technician. He worked at the central research laboratory of the English electronic company EMI and was the actual creator of this technology. The other was Allan Cormack, an American professor of physics, who in an earlier period had worked with the theoretical pre-requisites for taking cross-sectional pictures.

The development work was started at EMI in 1968 and shortly after, an experimental bench was built. Hounsfield cooperated with The Department of Health and Social Security (DHSS) and with three British radiologists, who made the medical evaluation. They became so enthusiastic for the new technology that they were soon suggesting that a prototype should be built in order to evaluate the technology in a clinical environment.

A prototype was built 1970-71, in close cooperation with the neuroradiologist James Ambrose. It had been shown that the technology should be given the fastest application and success when used for examining the skull.

The prototype was installed in Ambrose's clinic at Atkinson Morley's Hospital, Wimbledon. The first patients were examined and the computer tomography showed tumours in the brain in a way that had never been possible before.

The technology was announced in 1972 and attracted a big interest. It soon became the central subject of conversation at radiological congresses all over the world. Hospitals, which at an early stage had recieved the new X-ray machine, were constantly visited by radiologists. All wanted to see the new fantastic machine that could take pictures as if one had cut out a slice from the body and photographed it in the normal manner. Otherwise, modest radiologists considered that computer tomography was the most fantastic event that had occurred in the history of X-ray since Wilhelm Röntgen had discovered the X-ray in 1895.

Journals entirely devoted to computer tomography were soon started. A great demand came, especially from neuroradiologists, and after the development of computer tomography which made it possible to take pictures of the whole body from other radiologists. In almost all large clinics it was considered necessary to procure a machine in order to keep up a high standard in the radiological work. Many small clinics in small hospitals also wanted their own machine and did not hesitate to pay the price of 250-350 million pounds. On the contrary, it could be seen as a good investment as it could replace much more expensive technologies. After some hesitation, EMI decided to start production on their

own and quickly created a production and distribution organization. The great demand caused about 200 CT to be sold in the first two years instead of the expected 50.

Almost all established radiological companies and many other high technological companies invested their own resources and were established in the industry in order to make money out of this new fantastic X-ray technology, which seemed to have a marvellous growth.

Between 1976-77 there were 15-20 producers of CT. The competition became harder and the authorities in important countries introduced regulations in order to control an unrestrained development. The effect was most severe in the USA, where the market fell by 2/3 between 1977-78.

EMI was hit very hard, as they had concentrated almost all their resources in the USA. At the same time they had difficulties in keeping up with a very fast product development. The medical division turned high profits into losses. In the autumn 1979 EMI was forced to merge the whole company into Thorn Electric. They in their turn sold off the computer tomography business.

Other producers of CT came also into trouble and withdrew from the market. A picture with the big X-ray companies as leaders was the result.

Computer tomography for the body was also related to other diagnostic technologies and could not manifest its superiority in the same way as it had done for the skull. Old radiological technologies such as angiography and new ones such as ultrasound, were strong competitors. Ultrasound was also much cheaper and avoided X-rays. Computer tomography came into an intensive period of evaluation and one strived to develop programmes for the use of various methods. There are also at the development stage new and promising diagnostic technologies, which all promise to be competitors for computer tomography.

From a case on the development and diffusion of computer tomography (part II, chapter 3-13) the purpose of this work is to elucidate certain questions generated from empirical observations.

These are:

- o Why was computer tomography developed by EMI?
- o Why did EMI start production of CT on their own?
- o Why could the established radiological companies take over the CT market in spite of their being late in their own start?
- o Why was not EMI the leading company in the development of the third and fourth generations of CT from 1976?
- o Why could not EMI stay in the market?
- o How could CT get such a strong and fast diffusion, compared to ultrasound?

When answering the last question, CT is related to the development of ultrasound (US), a technology which shows some interesting differences compared to CT. In part III, chapter 14-16, a case over the development of ultrasound is given.

It shows that ultrasound as a medical diagnostic instrument is a late application. The first applications were for examining different materials in the industry and not until 1960-70 did any larger medical use occur. Technical break-throughs were necessary in combination with the creation of an organization which could handle the technology. The medical profession showed for a long time little interest in ultrasound, which was not in the least the case of radiologists and surgeons.

Part IV, chapter 17-20 deals with the medical contributions from CT and its effects on the radiological profession.

The most important contribution is that the technology gives a much more precise demarcation of different tissues, which makes it possible to better locate different weak changes. This has had its largest effect when diagnosing the skull, where CT has had an almost revolutionary impact. On a CT picture it is possible to separate a tumour from an internal haemorrhage, which earlier was impossible. This has had the effect that the earlier used methods have drastically reduced in number.

In chapter 18-20 we also, from a characterization of the work for the radiologists and radiographers and CT's effects for the relation between the medical personnel and the patient, try to understand the driving forces behind the early in time acceptance of CT by the radiological profession compared to ultrasound.

Part V and VI contain an analysis of the development of CT and ultrasound and an attempt to answer the previously mentioned questions. The analysis is divided into two steps.

In part V, chapter 21-23, we try, from an actor's perspective based on Berger & Luckman (1967), Glaser & Strauss (1968) and Schutz (1954), to answer the questions. This is done with the purpose of describing the subjective behaviour of the different actors.

We find important explanations as to why it was EMI which developed computer tomography and put up their own production. EMI had for a long time been engaged in computer development and pattern recognition technologies, the ingredients in computer tomography. The company had resources to put into a new field and a central research laboratory where development of electronics was going on. The established radiological companies were engaged in a different development work. They tried to improve the established technologies. They had considerable resources in established technologies and demanded sufficient volume for a new technology with which to fit the existing product programme.

At the same time established companies took over the market for CT during later development stages, a phenomenon that can be explained by the fact that it was then a question of marketing and producing a new X-ray technology for

the medical profession, where the radiological companies had superior competence.

It was demanded by EMI to build up a new product area in competition with established companies.

We also found important explanations for CT's early in time diffusion in the medical profession. CT meant a stronger possibility for the radiologists to give the physicians a better diagnosis as a help in the further treatment. CT also suits the work of the radiologist and his existing knowledge. It did not demand any radical change for its acceptance.

On the other hand ultrasound, was for a long time characterized by a bad picture quality and the examination demanded special skill from the physician in order to show the right structures on the picture. Not until the late 1970's did automatic systems develop based on microelectronics, which meant better picture quality and made the examination easier.

In part VI, chapter 24-26 we take a broader perspective and relate the analysis to some theories on technology development and organizational learning (more broadly presented in chapter 2). The development of CT and ultrasound are discussed with the help of some concepts, by which we can describe what happened in a more generalized way. EMI and the radiological companies are discussed in an industrial development perspective and the analysis of the diffusion of CT in the medical profession deepened.

It is important to discuss technology development in an organizational and industrial perspective and to deal with both developing and receiving systems, companies and industry as well as the medical profession, or at least those parts which are effected by the new technology.

It is then important to develop concepts that are in harmony with such a purpose. Many existing technology concepts have a bad connection to a business development perspective, which role the technology will play on a market and which demands it puts on different organizations to develop to a successful business area.

Between CT and ultrasound were important differences in their development environment and development logic, where the distinction general-application technologies was a useful explanation.

CT, seen as an application technology, had a well developed socio-technological system where it could get a first application. It got early market contact and important driving forces from the market.

Ultrasound, seen as a general technology, had first to develop/find an application. The most important driving forces came first from some kind of technology push.

In these differences we found important explanations for EMI's success in the early stage, but also why the company so soon encountered problems. The established X-ray companies had with near market relations and large market resources superiority in handling the penetration and maturity stages.

A general technology often grows out of non-business-oriented research and development. Lack of market contact and the great uncertainty of future applications make it hard and not even necessary with close relation to the development for existing business areas.

An application technology and the refining of it must have market contact earlier and be related to the development of existing business areas.

Computer tomography as an application technology and developed in EMI's central research laboratory can be seen as almost a mistake by EMI in its development of new electronic-based technologies.

From an analysis of EMI's and the X-ray companies' research and development environment we found it important to discuss R&D from a business development perspective. The concepts "business related and break-through research" had great value in explaining different companies' actions and especially what kind of competence and what resources needed in order to succeed in making a new technology a new profitable business area. In one case it was to integrate new products into existing business areas, in the other from a new product to build a new business area.

We also tried to see if Argyris' & Schön's (1978) concepts single loop and double loop learning could give increased understanding for the demands of change placed on an organisation by a new technology. We could point out that for EMI to succeed to be established as a successful medical technology company would have demanded changes of double loop character. EMI did not succeed with this transformation, which make it hard to say what would be demanded for such a change.

It was also important to separate between on one side general-application technology and on the other radical-adaptive technology. The latter distinction is based on those changes a new technology places on developing and receiving organizations.

Very often an application technology is adaptive. It demands small changes of the organization or displacements of power among leading actors. But as has been shown by CT and ultrasound, both a general technology and application technology can change from being radical to adaptive for a specific organization.

For EMI CT was adaptive at the beginning, but was quickly transformed towards a radical technology, whereas for the X-ray companies it at first was radical, but quickly passed over to become adaptive. In the same way, ultrasound for X-ray companies was radical at first, but adaptive after it had been accepted by the radiological profession. This phenomenon could not with sufficient distinction be described by Normann's (1975) concepts of product variations and reorientations.

The concepts of general-application and radical-adaptive were also useful when analysing CT's and ultrasound's different diffusion in the medical profession.

From a good understanding for important norms and values of the radiological profession we could understand the quick acceptance of CT, whereas ultrasound for a long time was regarded as a peripheral and scarcely interesting technology. With the concepts of radical-adaptive technologies we could summarize the demands for organizational change placed by the technologies.



Stiftelsen för information om

Ekonomisk Forskning, Lund

Postadress: EFL, Box 5136, 220 05 LUND

Telefon: 046-11 96 42

Forskningsrapporter:

- Johnsen, Erik: *Studies in Multiobjective Decision Models.* (1968) (Studentlitteratur)
- Andersson, Holf & Björn Bjerke: *Dynamisk kapitalplanering. Ett system för planering av kapitalströmmar i en sparbank.* (1971)
- Lohmander, Bengt & Eron Öxing: *Metoder och tekniker för adaptiv lagerstyrning applicerade på sparbankernas kontantkassor.* (1972) (CWK Gleerup)
- Bruzelius, Lars H: *Hur många serviceenheter? Metod och teknik vid utveckling av en operativ och strategisk modell för diversifiering av antalet serviceenheter.* (1972) (CWK Gleerup)
- Arwid, Olof: *Planering och simulering. En referensram för analys av simulering som angreppssätt vid olika planeringsnivåer i en organisation.* (1974)
- Hyrenius, Hans & Ingvar Sjögerås: *De mindre industriföretagens exportbeteende. En explorativ studie.* (1974)
- Namazi-Fard, Bozorg: *Application of Queuing Theory to General Hospitals. Models and Techniques for Inpatient and Outpatient Planning.* (1974)
- Lawal, Olayiwola A. *The Product Life Cycle Applied to Export Manufactures and Investment in Developing Countries.* (1974)
- Malm, Allan T: *Strategic Planning Systems. A Framework for Analysis and Design.* (1975) (Studentlitteratur)
- Danborg, Thomas, Göran Hammar & Jan-Inge Lind: *Region i kris. Samhällsorganisatorisk diagnos av sydöstra Skånes växtproblem.* (1975) (Studentlitteratur)
- Färnström, Bengt O & Christer Kedström: *Makt och beroende i samarbetsrelationer. En studie av mindre medelstora underleverantörsföretag.* (1975)
- Kedner, Gösta: *Företagskonkurser. Problem, analys, utvärdering, åtgärder.* (1975)
- Fredriksson, Gösta & Claes-Magnus Lagnevik: *Inbrytning och organisationsförändring. En studie av den svenska byggbranschens internationalisering.* (1975)
- Fornell, Claes: *Consumer Input for Marketing Decisions. A Study of Corporate Departments for Consumer Affairs.* (1976) (Praeger)
- Olofsson, Torbjörn: *Konstruktion av ekonomisystem.* (1976) (Studentlitteratur)
- Dahlgren, Jörgen & Lars Lindkvist: *Programorienterad utvärdering.* (1976)
- Svensson, Claes & Gösta Wijk: *Aspektstyrning i samhället. En föreställningsram för konsumentpolitisk styrning samt en analys av förutsättningar för samhällsstyrning samt Styrning och påverkan av boendeservice. En metodologisk studie av styrningens effekter på utformningen av tvättservice.* (1976)
- Berg, Per-Olof: *Emotional Structures in Organizations. A Study of the Change Process in a Swedish Company.* (1979) (Studentlitteratur)
- Andersson, Göran: *Samverkan mellan småföretag. En fallstudie av inledningsskedet i en samverkansprocess.* (1979) (Studentlitteratur)
- Nilsson, Jerker: *Sortimentsbyggande – en studie av den centrala inköpsverksamheten i ICA och KF.* (1980) (Studentlitteratur)
- Oxelheim, Lars: *Företagens utlandslån – valuta- och redovisningsaspekter.* (1981) (Liber)



Företagsekonomiska institutionen

Box 5136

220 05 LUND

046/10 70 00